

Département : Génie Mécanique

MASTER DE RECHERCHE

Mécanique, Robotique et Matériaux Innovants (MRMI)

Rapport de Stage PFE au sien Chez OCP Group

Optimisation de la Ligne d'Ensachage du MCP : Conception et Mise en place d'un Système de Suivi et de traçabilité de Performance



Préparé par : M. KHERBECH Rachid

Soutenu le 04/07/2025 devant le jury :

Noms et Prénoms

Pr. SAMRI Hassan

Pr. BELOUAGGADIA Naoual

Pr. BELFALLAH Kawtar

M. BAHRAR Bennasser

Pr. SAMRI Hassan

M. ATLAS Saïd

Qualité

Président

Rapporteuse

Examinatrice

Examineur

Encadrant pédagogique

Encadrant Industriel

Année Universitaire 2024/2025

Avant-propos

Nom et prénom de l'étudiant stagiaire de l'ENSET :

Rachid Kherbech

Établissement d'accueil :

Atelier de l'MCP au sein du pôle Maroc Chimie, site industriel de Safi chez **OCP Group**.

Établissement d'origine :

ENSET Mohammedia

Encadrants professionnels :

- M. Saïd ATLAS, Chef grade IV, Chef de service de l'atelier MCP au sein du pôle Maroc Chimie, site industriel de Safi chez **OCP Group**.

Encadrants pédagogiques :

- M. Hassan SAMRI, Docteur, Chef de Département Génie Mécanique et Professeur en génie mécanique et en automatisme des systèmes industriels à l'Université Hassan II, **ENSET Mohammedia**.

Date de début et de fin de stage :

Du 19/03/2025 au 20/07/2025

Dédicace

À Dieu Tout-Puissant,
Qui m'a accordé santé, force et courage tout au long de ces années d'études.

À mes chers parents,
Aucun mot, aussi puissant soit-il, ne saurait exprimer l'immensité de l'amour, de l'affection, du respect et de la gratitude que je ressens pour vous. Votre présence constante m'a apporté confiance et réconfort. Puisse ce travail être le fruit de votre dévouement et de vos sacrifices, et témoigner de ma reconnaissance et de ma patience. Que Dieu vous accorde longue vie, bonheur et santé, et vous protège pour que vous demeuriez le soleil qui illumine notre existence.

À mes chers frères,
Pour notre complicité et les liens solides qui nous unissent, il m'est difficile de trouver les mots pour exprimer l'attachement fraternel que j'ai pour vous. Je vous souhaite bonheur et courage dans vos vies. Que Dieu vous garde et vous protège.

À toute ma famille,
À ceux qui m'ont soutenu, encouragé, et apprécié mes efforts, à ceux qui ont su créer un environnement favorable, empreint de joie et de bienveillance, propice à la réalisation de ce travail.

À mes amis,
En souvenir des merveilleux moments passés ensemble, de cette amitié qui a illuminé nos années, de nos instants de joie et de peine partagés. Que ce modeste travail soit le témoignage de mon estime et de mon respect pour vous.

À mes chers professeurs,
Vous méritez toute ma reconnaissance pour l'enseignement de qualité et la formation complète que vous nous avez prodigués. Recevez mes remerciements les plus sincères.

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au **Groupe OCP**, et plus particulièrement à l'ensemble de l'équipe du **site industriel de Safi**, pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer mon stage de fin d'études au sein de leur prestigieuse structure. Cette expérience a été extrêmement enrichissante, tant sur le plan technique que sur le plan humain, et m'a permis de consolider mes connaissances tout en découvrant l'univers industriel à grande échelle.

Je remercie chaleureusement mon encadrant technique, **Monsieur Said Atlas**, pour son accompagnement rigoureux, sa disponibilité, et la richesse de ses conseils tout au long de mon projet.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à l'ensemble des membres de l'équipe technique et d'ingénierie avec lesquels j'ai eu le plaisir de collaborer :

- **Messieurs Youness, Yassin, et Aziz Lamjaded**, pour leur soutien quotidien, leur pédagogie, et leur esprit d'équipe,
- **Monsieur Mehdi Wafiq**, ingénieur, pour ses conseils techniques avisés, son écoute et sa bienveillance,
- ainsi qu'à **Monsieur Dahmane**, secrétaire général, pour son accueil chaleureux et sa confiance.

Leur encadrement, leur expertise et leur esprit collaboratif ont grandement contribué à la réussite de mon stage et ont rendu cette expérience aussi formatrice qu'inspirante.

Par ailleurs, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers **Monsieur Hassan Samri**, mon encadrant pédagogique, pour son suivi attentif, ses retours constructifs, et son engagement tout au long de ce projet.

Je remercie également notre coordinateur de master **MRMI, M. LAIDI Zahiri**, pour sa disponibilité, son soutien académique, et son implication dans la réussite de notre formation.

Abstract :

Ce rapport de stage, mené au sein du prestigieux Groupe OCP, acteur mondial incontournable de l'industrie phosphatée, offre une immersion technique approfondie au cœur de l'atelier de Monophosphate de Calcium (MCP) sur le site industriel de Safi. Le projet s'est articulé autour d'une démarche d'ingénierie visant à optimiser les performances opérationnelles de la ligne d'ensachage du MCP, en réponse à des problématiques critiques telles que les émissions de poussière et le déficit de traçabilité des données historiques de production.

Le point culminant de cette initiative réside dans la conception et le déploiement d'une architecture de gestion des données et d'un tableau de bord de performance. Une contribution technique majeure a été l'implémentation d'un processus robuste de synchronisation de la base de données vers une plateforme Cloud. Cette solution garantit la fiabilité transactionnelle et la haute disponibilité des données critiques, tout en assurant leur intégrité et leur résilience face aux pertes potentielles. Il est à noter que cette architecture a été ingénieusement bâtie sur des outils open-source et gratuits (SQL Server Express, scripts batch, Google Drive), démontrant une approche pragmatique d'optimisation des ressources sans compromis sur la robustesse et la sécurité du système.

Parallèlement, le projet a englobé l'élaboration d'un tableau de bord décisionnel dynamique, conçu pour une visualisation intuitive et une analyse approfondie des indicateurs clés de performance (KPIs) de la ligne d'ensachage. Ce dispositif transforme les données brutes en leviers stratégiques pour la maintenance prédictive, l'amélioration continue et une prise de décision éclairée. Ce travail souligne une synergie réussie entre l'ingénierie des procédés industriels et les solutions de gestion de données, propulsant l'efficacité opérationnelle et la compétitivité du Groupe OCP.

Liste des abréviations

| | Abréviation | Signification |
|---|--------------|---|
| Group OCP | OCP | Office Chérifien des Phosphates |
| | MCP | Mono-Calcium Phosphate (<i>produit phosphaté</i>) |
| | DCP | Di-Calcium Phosphate (<i>produit phosphaté</i>) |
| | TSP | Triple Super Phosphate (<i>produit phosphaté</i>) |
| | MPI | Maroc Phosphore I |
| | MPII | Maroc Phosphore II |
| | MC | Maroc chimie |
| Indicateurs de performance du Production | KPIs | Key Performance Indicators (<i>Indicateurs Clés de Performance</i>) |
| | TRG% | Taux de Rendement Global V |
| | TRS% | Taux de Rendement Synthétique % |
| | TRE% | Taux de Rendement Économique % |
| | OEE% | Overall Equipment Effectiveness (<i>Efficacité Globale des Équipements</i>) % |
| | TSE% | Taux stratégique d'engagement % |
| | TC% | Taux de charge % |
| | TR% | Taux de Réactivité % |
| Maintenance | 5-WHY | Méthode de 5 pourquoi |
| | AMDEC | Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité |
| | 5M | Méthode des 5M : Main-d'œuvre, Matière, Matériel, Méthode, Milieu |
| | GMAO | Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur |
| | PDR | Pièces de rechange |
| | MTBF | Mean Time Before Failure (Temps Moyen Entre les Défaillances) |
| | MTTR | Mean Time to Repair (Temps Moyen de Réparation) |

| | Abréviation | Signification |
|-------------------------------------|--------------------|---|
| Temps de Cycle de Production | TT | Temps Total |
| | TF | Temps de fermeture |
| | TO | Temps d'Ouverture |
| | TANP | Temps des Arrêts Non Planifiés |
| | TAP | Temps des Arrêts Planifiés |
| | TR | Temps Requis |
| | TB | Temps Brut ou Temps de Bon Fonctionnement |
| | TDT | Temps de Disponibilité technique |
| | TU | Temps Utile |
| | TPNQ | Temps de Production de Non Qualité |
| Standards International | AFNOR | Association Française de NORmalisation |
| | ISO | International Organization for Standardization |
| Technologie / Système | VBA | Visual Basic for Applications |
| | ADO | ActiveX Data Objects |
| | SQL | Structured Query Language |
| | SGBDR | Système de gestion de base de données relationnelle |
| | SSMS | SQL Server Management Studio |
| | BI | Business Intelligence |
| | DAX | Data Analysis Expressions |

Liste des figures :

- **Figure 1: Présentation des caractéristique clés de zone minière Boucraa**
- **Figure 2: Distribution des Zones, Ports et Sites Industriels de l'organisation OCP group dans le Maroc**
- **Figure 3: Résumé de la série des étapes de production de l'MCP**
- **Figure 4: Organigramme Général des Opérations du Hall de Stockage**
- **Figure 5: Description de la machine ASSEC L10**
- **Figure 6: Robot PAYPER 5 Axes**
- **Figure 7: Diagramme représentatif du workflow de la ligne d'ensachage**
- **Figure 8: Exemple de 120*120 cm ventilateur industrielle mural**
- **Figure 9: Exemple des châssis couverture des machine industrielle**
- **Figure 10: Architecture de Décomposition des Temps de Cycle de Production et Identification des Pertes selon la Norme AFNOR NF E 60-182**
- **Figure 11: Exemple de diagramme de Pareto**
- **Figure 12: Interface de formulaire des Arrêts Planifiés**
- **Figure 13: Programme VBA pour les macros « Boutons » de saisie du temps et de la date actuelle sur le formulaire Arrêts Planifiés**
- **Figure 14: Interface de formulaire des Arrêts Non Planifiés**
- **Figure 15: Programme VBA pour les macros « Boutons » de saisie du temps et de la date actuelle sur le formulaire Arrêts Non Planifiés**
- **Figure 16: Interface de formulaire des Sacs Produits**
- **Figure 17: Interface de VBA Project explorer**
- **Figure 18: Feuille Excel correspondant aux arrêts planifiés pour la soumission des données par le formulaire**
- **Figure 19: Feuille Excel correspondant aux arrêts Non planifiés pour la soumission des données par le formulaire**
- **Figure 20: Feuille Excel correspondant aux Sacs Produits pour la soumission des données par le formulaire**
- **Figure 21: Exemple de Programme VBA pour L'automatisation de processus de DATA Logging du formulaire des Arrêts Planifiés**
- **Figure 22: Passerelle (Pipeline) des données entre Excel et SQL Server (SSMS)**
- **Figure 23: Fenêtre de connexion à SQL Serveur Express**
- **Figure 24: Base de données Ligne Ensacheuse et les tableaux des données**
- **Figure 25: Structure du Tableau de données des Arrêts planifiés**
- **Figure 26: Structure du Tableau de données des Arrêts Non planifiés (pannes)**
- **Figure 27: Structure du Tableau de données des Sacs produits**
- **Figure 28: Programme VBA pour la configuration et la connexion à les feuilles Excel avec la base de données SQL Server**
- **Figure 29: Exemple de programme VBA pour le transfert des données à l'échelle de la feuille des arrêts non planifiés vers leur table de données**
- **Figure 30: Programme VBA pour le nettoyage des données des feuilles Excel**
- **Figure 31: Tableau de données de Cycle de production dans SSMS**

- **Figure 32: Requête SQL pour l'automatisation du calcul, de l'analyse et de la saisie des nouvelles données dans le tableau du cycle de production**
- **Figure 33: Conception et Création de Tableau KPIs de Maintenance dans Database**
- **Figure 34: Requête SQL pour l'automatisation du calcul, de l'analyse et de la saisie des nouvelles données dans le tableau du KPIs de Maintenance**
- **Figure 35: Requête SQL pour l'automatisation du calcul, de l'analyse et de la saisie des nouvelles données dans le tableau du KPIs de production**
- **Figure 36: Tableau des données initiale de diagramme de Pareto**
- **Figure 37: Tableau des données finale de diagramme de pareto**
- **Figure 38: SQL query pour l'automatisation de calcul des paramètres de tableau initiale de tableau des données de digramme pareto**
- **Figure 39: SQL query pour l'automatisation de calcul des paramètres de tableau final de tableau des données de digramme Pareto**
- **Figure 40: Données collectées pour les arrêts non planifiés du 17 au 20 juin**
- **Figure 41: Données collectées pour les arrêts planifiés du 17 au 20 juin**
- **Figure 42: Données collectées pour les sacs produits du 17 au 20 juin**
- **Figure 43: Données Arrêts non planifiés après migration vers tableau de données à SQL Server**
- **Figure 44: Données Arrêts planifiés après migration vers tableau de données à SQL Server**
- **Figure 45: Données Sacs Produits après migration vers tableau de données à SQL Server**
- **Figure 46: Résultats d'analyse sur Tableau des données du temps de cycle de production**
- **Figure 47: Résultats d'analyse sur Tableau des données des KPIs de Production**
- **Figure 48: Résultats d'analyse sur Tableau des données des KPIs de Maintenance**
- **Figure 49: Résultats d'analyse sur Tableau des données initiale de diagramme de Pareto**
- **Figure 50: Résultats d'analyse sur Tableau des données finale de diagramme de Pareto**
- **Figure 51: Script de fichier .bat**
- **Figure 52: Création de la tâche dans Task Scheduler**
- **Figure 53: Installation de L'outil ou le programme 7-Zip (7z)**
- **Figure 54: Nouveau script .bat pour la compression ZIP mise à jour**
- **Figure 55: Le fichier 'BAK' après compression 'Zip' et synchronisation sur le Cloud**
- **Figure 56: Workflow du processus de synchronisation de la base de données**
- **Figure 57: SQL server avec Power BI**
- **Figure 58: Configuration de Power BI pour la connexion à la base de données SQL Server**
- **Figure 59: Données de SQL Server chargées dans Power BI**
- **Figure 60: Création des colonnes pour le stockage des temps MTBF et MTTR (en heures décimales)**
- **Figure 61: Mesure DAX pour la moyenne des indicateurs MTBF et MTTR**
- **Figure 62: Tableau de bord pour la visualisation des graphs de KPIs de Maintenance**
- **Figure 63: Tableau de bord pour la visualisation des graphs de KPIs de Production**
- **Figure 64: Tableau de bord pour la visualisation des graphs de cycle de Production**
- **Figure 65: Visualisation de digramme de Pareto 2080**

Liste des Tableaux :

- **Tableau 1 : Vue d'ensemble du hall de stockage et d'ensachage**
- **Tableau 2 : présentation des caractéristiques techniques du robot de palettisation**
- **Tableau 3 : Sous ensemble de l'Apport produit**
- **Tableau 4 : Sous ensemble de l'ensacheuse**
- **Tableau 5 : Sous ensemble de la Palettiseuse**
- **Tableau 6 : Sous ensemble de la Robot de palettisation**
- **Tableau 7 : Sous ensemble de la machine de Houssage**
- **Tableau 8 : structure de tableau de données de Cycle de production**
- **Tableau 9 : Tableau des besoins technique**
- **Tableau 10 : Structure de la Table "KPIs_Maintenance"**
- **Tableau 11 : Structure de Tableau de données de "Cycle de Production"**

Tableau de Matière

| | |
|---|----|
| Avant-propos | 2 |
| Dédicace | 3 |
| Remerciements | 4 |
| Abstract : | 5 |
| Liste des abréviations..... | 6 |
| Liste des figures : | 8 |
| Liste des Tableaux : | 10 |
| Introduction générale | 14 |
| Chapitre 1 : Présentation de l'Organisation OCP group : | 15 |
| I. Introduction : | 15 |
| 1. Minières zones | 15 |
| 2. Ports et logistiques..... | 17 |
| 3. Sites Industriels | 18 |
| II. Site industriel de Safi..... | 20 |
| 1. Centre des compétences et de formation : | 20 |
| 2. Pole Maroc Chimie : | 20 |
| 3. Pole Maroc Phosphore I : | 20 |
| 4. Pole Maroc Phosphore II : | 20 |
| III. Pole Maroc Chimie : | 20 |
| 1. Maintenance solutions..... | 20 |
| 2. Atelier d'engrais | 20 |
| Chapitre 2 : Présentation du processus de production de l'MCP : | 22 |
| I. Atelier de MCP : | 22 |
| II. Présentation du processus de production de MCP : | 22 |
| 1. Préparation de la Pulpe de Chaux..... | 22 |
| 2. Acidulation (Réaction avec H_3PO_4)..... | 23 |
| 3. Granulation (Spinden)..... | 24 |
| 4. Séchage et Captage des Poussières | 24 |
| 5. Criblage et Classification | 24 |
| 6. Refroidissement | 25 |
| 7. Stockage en Silos..... | 25 |
| 8. Ensachage (Ligne FFS) | 25 |
| Chapitre 3 : Etude de processus de stockage et d'ensachage de l'MCP : | 27 |
| I. Introduction à le Hall de stockage : | 27 |

| | | |
|--|--|----|
| II. | Vue d'ensemble du hall de stockage et d'ensachage : | 27 |
| III. | Opérations et équipements de Hall de stockage : | 29 |
| 1. | Criblage initial (silos A et B) : | 29 |
| 2. | Système de remplissage de big bags (silos A et B) : | 29 |
| 3. | Remplissage vrac connecté au silo A : | 30 |
| 4. | Ligne d'ensachage : | 30 |
| Chapitre 4 : Etude et Analyse du processus de la ligne d'ensachage de l'MCP | | 32 |
| I. | Présentation des équipements de la ligne : | 32 |
| 2. | Présentation des Ensembles, Sous-Ensembles de la Ligne d'Ensachage : | 34 |
| II. | Présentation détaillée du processus de ligne d'ensachage de l'MCP : | 37 |
| 1. | Workflow de la ligne d'ensachage : | 37 |
| 2. | Workflow de la machine FFS : | 38 |
| 3. | Palettisation et housage des palettes de sacs finis de l'MCP : | 39 |
| III. | Analyse de la ligne et identification des pistes d'amélioration : | 39 |
| 1. | Problème des émissions de poussière : | 39 |
| 2. | Solutions et recommandations : | 40 |
| Chapitre 5 : Mise en place d'un system de suivi et de traçabilité des données de la ligne d'ensachage..... | | 46 |
| I. | Introduction : | 46 |
| 1. | Identification de la Problématique : | 46 |
| 2. | Objectif de ce chapitre : | 46 |
| II. | Etude du cycle de production et la structure des paramètres d'analyse de performance | 47 |
| 1. | Cycle de production de la ligne : | 47 |
| 2. | Structure de temps de cycle de production de la ligne selon la norme AFNOR NF E 60-182 : | 48 |
| 3. | Outils et paramètres d'analyse de performance : | 53 |
| III. | Architecture de la Procédure de Collecte et de Saisie des Données | 56 |
| 1. | Identification et Caractérisation des Données à Collecter | 56 |
| 2. | Conception de l'Interface de Saisie des Données via Excel | 58 |
| 3. | Automatisation de la Soumission des Données via les Macros VBA | 63 |
| IV. | Architecture et Implémentation du Transfert et du Stockage des Données dans une Base de Données..... | 67 |
| 1. | Procédure de Transfert et de Stockage des Données..... | 67 |
| 2. | Conception Elaboration d'une Passerelle (Pipeline) entre Excel et SQL Server (SSMS) : | 69 |
| V. | Automatisation du Processus d'Analyse de Performance dans la Base de Données : | 76 |
| 1. | Création et Automatisation du Processus de Calcul des Temps de Cycle de Production..... | 76 |
| 2. | Création et Automatisation du Calcul des Indicateurs Clés de Performance (KPIs) de Maintenance..... | 83 |
| 3. | Création et Automatisation du Calcul des Indicateurs Clés de Performance (KPIs) de Production | 88 |
| 4. | Création et Automatisation du Calcul des paramètres diagramme de Pareto : | 93 |

| | | |
|---|--|-----|
| VI. | Phase de Test de processus d'Analyse Préliminaire des Performances dans SQL Server : | 97 |
| 1.2. | Interprétation des Résultats des Calculs des Temps de Cycle de Production | 101 |
| 2. | Calcul des Indicateurs de Performance (KPIs) de Production..... | 102 |
| 2.2. | Interprétation des Résultats des Indicateurs de Performance (KPIs) de Production | 102 |
| 3. | Calcul des Indicateurs de Performance (KPIs) de Maintenance : | 103 |
| 3.2. | Interprétation des Résultats des Indicateurs de Performance (KPIs) de Maintenance..... | 104 |
| VII. | Mise en place d'une sauvegarde automatisée de base de données sur Cloud..... | 107 |
| Chapitre 6 : Elaboration d'un tableau de bord pour la traçabilité et l'analyse de performance de la ligne d'ensachage | | 113 |
| I. | Introduction au Tableau de Bord et ses Objectifs | 113 |
| II. | Choix et Justification de l'Outil de Business Intelligence (BI)..... | 114 |
| III. | Conception et Visualisation de la Page "KPIs de Maintenance" | 117 |
| IV. | Conception et Visualisation de la Page "KPIs de Production" | 121 |
| V. | Conception et Visualisation de la Page "Cycle de Production" | 123 |
| VI. | Conception et Visualisation de la Page "Diagramme de Pareto" | 126 |
| VII. | Conception et Visualisation de la Page "Sacs Produits" | 128 |
| Conclusion générale : | | 131 |
| Références | | 134 |
| Bibliographie | | 134 |

Introduction générale

Dans un monde en constante évolution, où la compétition est de plus en plus rude, les entreprises, quelle que soit leur taille ou leur domaine d'activité, sont contraintes d'améliorer leur performance et de satisfaire leurs clients. Pour cela, elles doivent faire face à plusieurs défis, tels que la réduction des coûts, l'amélioration de la qualité, l'optimisation des délais et la modernisation des équipements et des systèmes. Le secteur industriel, en particulier, est au cœur de ces enjeux, car il est le moteur de la croissance économique et de l'innovation.

Le stage de fin d'études est une étape clé dans le parcours académique de tout étudiant, offrant une opportunité précieuse d'appliquer les connaissances théoriques acquises et de développer des compétences pratiques en milieu professionnel. C'est dans ce contexte que j'ai eu l'honneur d'intégrer le Groupe OCP, leader mondial de l'industrie phosphatée, pour une durée de quatre mois. Ce stage s'inscrit dans le cadre de mon diplôme de Master en Mécanique, Robotique et Matériaux Innovants.

Mon travail s'est déroulé au sein du pôle Maroc Chimie, sur le site industriel de Safi, plus précisément à l'atelier de Monophosphate de Calcium (MCP). Cet atelier est stratégique pour le Groupe OCP, étant l'un des principaux producteurs de MCP, un complément alimentaire essentiel pour le bétail et la volaille. La ligne d'ensachage de l'atelier MCP représente un maillon crucial de la chaîne de production, assurant le conditionnement final du produit avant sa commercialisation.

Le présent rapport de stage est structuré de manière à fournir une vue d'ensemble complète de l'expérience acquise. Il débutera par une présentation détaillée de l'organisme d'accueil, le Groupe OCP, incluant son historique, ses activités, sa structure et sa place sur le marché mondial. Ensuite, il décrira le déroulement du stage, en se concentrant sur les principales missions et tâches réalisées. Les défis rencontrés et les solutions apportées seront également exposés. Enfin, une conclusion récapitulera les apports de ce stage et les perspectives d'avenir.

Chapitre 1 : Présentation de l'Organisation OCP group :

I. Introduction :

Le Groupe OCP (Office Chérifien des Phosphates) est leader mondial dans les solutions phosphates et engrais, avec une chaîne de valeur intégrée couvrant l'extraction minière, la transformation chimique et la distribution maritime via quatre sites miniers, deux complexes industriels et un réseau logistique portuaire. En 2023, le chiffre d'affaires a atteint **9 milliards USD**, et l'effectif s'élevait à **21 170 employés** (1). Le groupe collabore avec plus de **350 clients** dans le monde. OCP a fondé l'**Université Mohammed VI Polytechnique (UM6P)** à Ben guérir, dotée de laboratoires en agronomie, nanotechnologies et analyse du sol (2). Des partenariats académiques ont été noués avec le **MIT**, **Mines ParisTech** (3) et l'**Université Laval**. Le programme d'**économie circulaire** de OCP s'articule autour de quatre axes : préservation des ressources, production durable, consommation intelligente et création de valeur par recyclage (4). Le plan d'**investissement vert** de **12 milliards USD** pour 2023–2027 vise 100 % d'énergie renouvelable d'ici 2027 et la neutralité carbone (Scope 1 & 2 d'ici 2030, Scope 3 d'ici 2040).

1. Minières zones

1.1. Khouribga :

C'est la première mine d'OCP, ouverte en 1921 dans le nord-ouest du Maroc. Elle abrite la plupart des réserves de phosphate du Maroc et produit 70% de la production d'OCP. La mine se trouve dans le bassin d'Oulad Abdoun, qui comprend 44% des réserves de phosphate du Maroc, soit plus de 26 milliards de tonnes. Un pipeline à bouillie de 187 km transporte le phosphate de Khouribga à une usine de traitement à Jorf Lasfar, puis par voie ferrée à Casablanca pour l'exportation. Le complexe de Jorf Lasfar est devenu le plus grand centre de production d'engrais au monde, avec une capacité de production annuelle de 11 millions de tonnes d'engrais à partir de phosphate et de 6 millions de tonnes d'acide phosphorique. Le rendement de la mine de Khouribga est indissociable de la croissance d'OCP, qui était autrefois appelé Office Chérifien des Phosphates. L'OCP a également mis en œuvre un programme de gestion des ressources pour assurer une production durable et une réduction de l'impact environnemental. Le projet prévoit un investissement total de 13 milliards de dollars de 2023 à 2027, permettant à OCP d'utiliser 100% d'énergie renouvelable d'ici 2027 et d'atteindre la neutralité carbone totale d'ici 2040 (Scope 1 et 2 d'ici 2030 et Scope 3 d'ici 2040). Le PDG d'OCP, Mostafa Terrab, a déclaré que cet accord est un « jalon majeur » vers l'objectif de l'entreprise d'utiliser 100% d'énergie renouvelable dans la production d'engrais

d'ici 2027. Les mines à ciel ouvert de Khouribga et Ben guérir forment le système de Gantour, la troisième plus grande mine de phosphate au monde. Pour renforcer ses performances opérationnelles, OCP maintient des relations fortes et collaboratives avec ses fournisseurs et entrepreneurs, améliorant considérablement la valeur de l'entreprise grâce à des partenariats stratégiques. Stroc Industrie, un prestataire EPC nord-africain de renom, fournit des capacités de fabrication essentielles pour les secteurs des mines, du pétrole et du gaz et de l'industrie. Maroc Consulting Plastic assure des connexions de soudure sans fuite, tandis que la Société Générale des Travaux du Maroc exécute une construction accélérée de pipelines pour un transfert d'eau efficace. Vulmatec soutient l'entreprise avec des réparations de bandes métalliques, et Caterpillar Inc. fournit un équipement vital, assurant le fonctionnement sans faille des installations d'OCP. OCP a également noué des partenariats avec des entreprises comme JESA pour étudier la récupération de systèmes à partir de plantes d'épuration des eaux usées. Il a également investi dans le développement de fertilisants sur mesure pour améliorer le rendement agricole, limiter la surutilisation et préserver les réserves mondiales de minéraux existants. Il a créé plus de 98 formules de fertilisants sur mesure avec des tests agronomiques en cours (5).

1.2. Gantour (Ben guérir et Yousseoufia) :

La mine à ciel ouvert de Ben guérir est l'une des activités de recherche les plus importantes d'OCP, tout en restant pleinement active en tant que mine. C'est un site d'essai et un lieu de Living Lab pour l'UM6P, ouvert à la communauté scientifique pour des fins de recherche. Ce projet place OCP au cœur du progrès technologique dans l'industrie minière. Les mines de Ben guérir et Yousseoufia forment ensemble le système de Gantour, la troisième plus grande mine de phosphate au monde. Les phosphates de Gantour sont acheminés à Safi pour y être transformés et exportés (6).

1.3. Boucraa (Laâyoune) :

Située au Sahara occidental, Boucraa est exploitée par Phosboucraa, une filiale de l'OCP. Les opérations minières ont débuté en 1972. La région de Boucraa possède des réserves de phosphate dépassant 1,7 milliard de tonnes. La capacité d'extraction de Phosboucraa est d'environ 4 millions de tonnes par an, représentant environ 2 % des réserves totales de phosphate du Maroc et 8 % de la production totale de roche phosphatée du Groupe OCP. La mine produit environ 3 millions de tonnes par an, soit 10 % de la production totale du Maroc. Le phosphate est transporté via un convoyeur automatisé de 102 kilomètres jusqu'au port de Laâyoune, le plus long convoyeur au monde. Ce convoyeur est si long que la poussière qu'il génère est visible depuis l'espace. En 1976, l'OCP a acquis 65 % de Phosboucraa et en est devenu l'unique propriétaire en 2002. En 2023, l'OCP a annoncé un investissement de 2,2

milliards de dollars pour construire une usine de transformation de phosphate à Boucraa, produisant des engrais et de l'acide phosphorique. Ce projet devrait créer plus de 5 000 emplois dans la région. La Fondation Phosboucraa a aidé plus de 50 000 personnes grâce à des programmes dans les domaines de l'éducation, de la santé et de l'entrepreneuriat. Les travailleurs locaux représentent 76 % de la main-d'œuvre sur le site. Cependant, la légalité de l'exploitation minière au Sahara occidental, un territoire non autonome, est contestée en vertu du droit international, ce qui a conduit au retrait de plusieurs fonds d'investissement des acheteurs de phosphate et à une baisse des exportations (7).



Figure 1 : présentation des caractéristiques clés de zone minière Boucraa

2. Ports et logistiques

Le réseau logistique de l'OCP comprend plusieurs ports stratégiques pour l'exportation du phosphate et de ses dérivés :

- **Port de Casablanca** : Situé dans le nord-ouest du Maroc, ce port historique est utilisé pour l'exportation de la roche phosphatée extraite de la mine de Khouribga, transportée par voie ferrée.
- **Port de Jorf Lasfar** : Situé près d'El Jadida, ce port en eau profonde est adjacent au complexe industriel de Jorf Lasfar. Il est équipé pour l'exportation de la roche phosphatée, de l'acide phosphorique et des engrais produits localement.
- **Port de Safi** : Situé sur la côte atlantique, ce port est utilisé pour l'exportation des produits phosphatés transformés dans les installations chimiques de Safi (4).
- **Port de Laâyoune** : Situé au Sahara occidental, ce port est utilisé pour l'exportation de la roche phosphatée extraite de la mine de Boucraa.

En 2024, l'OCP a lancé son programme stratégique Mzinda/Meskala, visant à augmenter la capacité de production dans deux régions clés. Dans le corridor Mzinda-Safi, l'objectif est d'atteindre une capacité de production annuelle de 12 millions de tonnes de roche, 3 millions

de tonnes d'acide phosphorique et 8,4 millions de tonnes d'engrais d'ici 2028. Dans le corridor Meskala-Essaouira, le but est d'atteindre une capacité de production annuelle de 20 millions de tonnes de roche, 1 million de tonnes d'acide phosphorique et 2 millions de tonnes d'engrais d'ici 2030. D'ici 2027, l'OCP achèvera un programme d'investissement de 20 milliards de dollars pour doubler la production minière, tripler la capacité de transformation, améliorer l'efficacité et renforcer la logistique. Cela inclut le développement d'infrastructures physiques et une transformation numérique complète de l'entreprise. Le projet permettra à l'OCP de produire plus d'engrais avec moins de ressources, contribuant ainsi à un avenir plus durable. L'unité Specialty Products & Solutions (SPS) du Groupe OCP et Maersk ont signé un protocole d'accord mondial pour renforcer leur partenariat de longue date et faire progresser des solutions de chaîne d'approvisionnement innovantes et durables. L'accord couvre le transport maritime et terrestre, les services logistiques, la gestion de la chaîne d'approvisionnement, l'éducation et les initiatives de durabilité.

3. Sites Industriels

3.1. Jorf Lasfar

Le site industriel de Jorf Lasfar, inauguré en 1984, est le plus grand complexe intégré de production d'engrais phosphatés au monde. S'étendant sur une superficie de 1 800 hectares, il emploie environ 5 000 collaborateurs et 10 000 sous-traitants

Capacités de production :

- Acide phosphorique : capacité de 6 millions de tonnes par an, avec une production de 5,65 millions de tonnes en 2020.
- Engrais : capacité de 10,5 millions de tonnes par an, avec une production de 10,18 millions de tonnes en 2020 [\(10\)](#).

Infrastructure et innovation :

- Le site est connecté au Slurry Pipeline, un pipeline de 187 km transportant le phosphate sous forme de boue depuis Khouribga, permettant de préserver les ressources et de réduire la consommation énergétique.
- Il comprend également une centrale thermoélectrique d'une puissance de 62 MW, assurant l'autosuffisance énergétique du complexe.
- Le complexe abrite « Africa Fertilizer Complex », une unité dédiée à la production d'un million de tonnes d'engrais par an, destinées aux pays africains [\(11\)](#).

3.2. Safi

Le site industriel de Safi, premier complexe chimique de l'OCP, a démarré ses activités en 1965 pour valoriser les phosphates du gisement de Gantour.

Capacités de production :

- Acide phosphorique : capacité de 400 000 tonnes de P_2O_5 par an.
- Engrais : production annuelle de 500 000 tonnes de TSP, 30 000 tonnes d'ASP et 250 000 tonnes de NPK.

Infrastructure et innovation :

- Le site comprend cinq unités de production d'acide sulfurique, chacune d'une capacité de 1,4 million de tonnes par an, ainsi qu'une centrale thermique d'une puissance de 350 MW (12).
- Il abrite également des unités de production d'engrais DAP, TSP et NPK, ainsi que des installations pour des produits spécifiques et innovants.
- Le complexe dispose d'un centre de compétences et de formation, visant à renforcer les capacités et les compétences de ses employés, soutenant ainsi l'innovation et le développement durable.

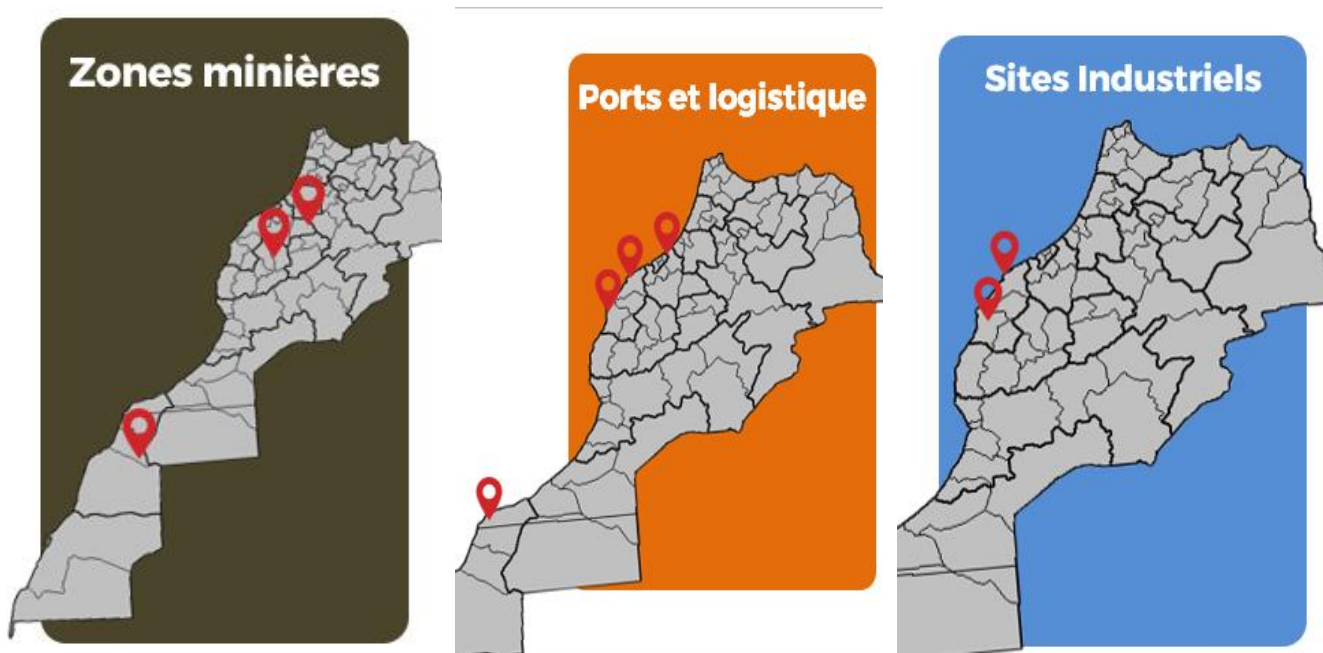


Figure 2 : distribution des Zones, Ports et Sites Industriels de l'organisation OCP group dans le Maroc

II. Site industriel de Safi

1. Centre des compétences et de formation :

Le site industriel de Safi comprend un centre de compétences et de formation visant à améliorer les compétences et les capacités de sa main-d'œuvre pour soutenir l'innovation et le développement durable.

2. Pole Maroc Chimie :

Le Pôle Maroc Chimie situé à Safi est un centre clé pour le traitement chimique au sein du Groupe OCP, produisant une variété de produits chimiques à partir de phosphate. Il joue un rôle important dans la diversification de la production d'OCP et l'augmentation de la valeur ajoutée.

3. Pole Maroc Phosphore I :

Le Pôle Maroc Phosphore I est une unité de traitement du phosphate à Safi. Il contribue à la production d'engrais et de produits spécialisés, renforçant ainsi la position de marché mondiale d'OCP.

4. Pole Maroc Phosphore II :

Le Pôle Maroc Phosphore II est une autre unité de traitement du phosphate à Safi. Elle collabore étroitement avec les autres pôles pour maximiser la capacité de production de phosphate, optimiser les coûts et améliorer la flexibilité de production.

III. Pole Maroc Chimie :

1. Maintenance solutions

Les Solutions de Maintenance OCP fournissent des services complets de maintenance et de fiabilité à travers l'ensemble du complexe industriel OCP Safi.

Ces services assurent la performance optimale et la longévité de tous les équipements et infrastructures, soutenant tous les ateliers, y compris MC, MCP, DCP et TSP.

Utilisant des technologies avancées, ils minimisent les temps d'arrêt et maximisent l'efficacité opérationnelle.

2. Atelier d'engrais

2.1. Atelier de l'MCP

L'atelier (MCP) à l'OCP Safi produit du Monophosphate de Calcium $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, un complément alimentaire essentiel pour les animaux.

Cet atelier utilise de l'acide phosphorique et des sources de calcium pour fabriquer du MCP de haute qualité, assurant un approvisionnement constant de cet additif nutritionnel essentiel pour l'industrie de l'alimentation animale.

2.2. Atelier de l'DCP

L'atelier (DCP) à l'OCP Safi est dédié à la production de Diphosphate de Calcium CaHPO_4 , un autre complément alimentaire clé pour les animaux.

Cet atelier se concentre sur la formulation du DCP pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques des animaux, assurant la livraison de suppléments alimentaires de haute qualité pour soutenir la santé et la croissance du bétail

2.3. Atelier de l'TSP

L'atelier (TSP) à l'OCP Safi produit du Superphosphate Triple avec la même forme chimique de MCP $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, mais représente un engrais phosphaté à haute concentration.

Cet atelier est très important pour la fabrication de ce produit agricole essentiel, fournissant du phosphore vital aux cultures et soutenant la productivité agricole mondiale.

Chapitre 2 : Présentation du processus de production de l'MCP :

I. Atelier de MCP :

L'unité de production de phosphate monocalcique (MCP), située au sein du complexe Maroc Chimie du site OCP Indus de Safi, se compose de cinq zones principales :

- Usine de production de MCP (Zone de production) : Il s'agit du cœur de l'installation, où se déroule le processus de production du MCP, comme décrit dans le diagramme SIPOC. Cette zone abrite également la salle de contrôle.
- Salle de contrôle : Située dans l'atelier MCP, elle sert de point central pour la supervision en temps réel des capteurs et des machines impliquées dans le processus de production.
- Administration : Dédiée aux tâches administratives, aux réunions et à la gestion des opérations liées au MCP.
- Laboratoire de contrôle qualité : Un petit laboratoire dédié où sont réalisées les analyses de qualité sur les échantillons prélevés directement du processus de production.
- Hall de stockage et d'ensachage : Ce grand entrepôt est destiné au stockage du produit fini MCP ainsi qu'à son conditionnement (ensachage). C'est l'élément principal sur lequel mon étude se concentre actuellement.

II. Présentation du processus de production de MCP :

Afin de mieux comprendre le processus global de production du Monophosphate de Calcium (MCP) au sein de l'unité Maroc Chimie de l'OCP à Safi, un diagramme SIPOC a été élaboré. Ce dernier permet de visualiser de manière synthétique l'ensemble de la chaîne de valeur du processus, en identifiant clairement les **fournisseurs**, les **intrants**, les **étapes du processus**, les **produits finis** ainsi que les **clients internes**. Ce tableau est un outil fondamental pour l'analyse des performances du processus et la détection d'éventuelles pistes d'amélioration.

Ci-dessous, une Modélisation et Cartographie SIPOC appliquée à la production de MCP en 8 étapes, de la préparation des ingrédients à l'ensachage du produit final :

1. Préparation de la Pulpe de Chaux

- **Fournisseurs (S) :**
 - **Silos A/B :** Calcaire ($\text{CaCO}_3 \leq 64\%$) pour l'extraction de Chaux vive ($\text{CaO} > 53.5\%$), réaction chimique : Chaleur ($T > 825^\circ\text{C}$) + $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
 - **Bac de lavage :** Eau déminéralisée (H_2O , 36% du mélange). Nécessité d'une eau sans impuretés pour éviter les réactions indésirables.
- **Entrées (I) :**
 - **Chaux (CaO) :** Pureté $> 53.5\%$, densité cible = 1400 kg/m^3 .
 - **Eau :** Absence d'impuretés.
- **Processus (P) :**
 - Mélange dans un bac agité pour obtenir une pulpe homogène.
 - Densité contrôlée : 1664 kg/m^3 (mesurée par un densimètre).
 - Température : Maintenue à $60\text{-}70^\circ\text{C}$ pour faciliter la dissolution.
- **Contrôles Qualité :**
 - Test de densité : Toutes les 30 minutes. Importance des contrôles fréquents.
 - Analyse chimique : Teneur en $\text{CaO} > 53.5\%$, absence de contaminants (MgO , SiO_2).
- **Sorties (O) :** Pulpe de chaux prête pour la réaction.
- **Client (C) :** Pré-réacteur.

2. Acidulation (Réaction avec H_3PO_4)

- **Fournisseurs (S) :** Bac de H_3PO_4 : Acide phosphorique ($52\text{-}54\% \text{ P}_2\text{O}_5$).
- **Entrées (I) :** Pulpe de chaux + H_3PO_4 .
- **Processus (P) :**
 - Réaction exothermique : $\text{CaO} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Chaleur}$.
 - Conditions opératoires : pH 3.0-3.5 (contrôlé par sonde pH-métrique), température $80\text{-}90^\circ\text{C}$ (refroidissement si nécessaire), temps de réaction 20-30 minutes.
- **Sorties (O) :** Mélange réactionnel (MCP en suspension).
- **Client (C) :** Unité de granulation (Spinden).

3. Granulation (Spinden)

- **Fournisseurs (S) :** Pré-réacteur : Mélange MCP, ligne de recyclage (Fines de MCP (<1.5mm))
- **Entrées (I) :** Mélange MCP + Fines recyclées.
- **Processus (P) :**
 - Atomisation : Pulvérisation du mélange dans un tambour rotatif.
 - Granulation : Formation de granules humides (1.5-2.2mm).
 - Paramètres critiques : **Humidité 8%** avant séchage, taille des granules contrôlée par tamisage.
- **Sorties (O) :** Granules humides de MCP.
- **Client (C) :** Tube sécheur.

4. Séchage et Captage des Poussières

- **Fournisseurs (S) :** Chambre de combustion : **Air chaud (<100°C)**
- **Entrées (I) :** Granules humides (**8% humidité**)
- **Processus (P) :**
 - Séchage rotatif : Température d'entrée **200-250°C**, température de sortie **≤100°C** (pour éviter la décomposition).
 - Cyclones : Captage des poussières (**efficacité >95%**). Importance du captage des poussières pour l'environnement.
- **Contrôles Qualité :**
 - Humidité finale : **<3%** (mesurée par sonde NIR).
- **Sorties (O) :** MCP sec (**<3% H₂O**), poussières captées (recyclage ou déchet).
- **Client (C) :** Cribles vibrants.

5. Criblage et Classification

- **Fournisseurs (S) :** Tube sécheur : MCP sec (**humidité <3%**)
- **Entrées (I) :** MCP granulé (**1.5–2.2 mm**) et poussières (**<1.5 mm**)
- **Processus (P) :**
 - La séparation des granules par une Criblage vibratoire (2 étages) : **Crible A (2.2 mm)**, **Crible B (1.5 mm)**.
 - Recyclage : **Fines (<1.5 mm)** et **grains >2.2 mm**. Importance du recyclage pour l'efficacité.

- **Contrôles Qualité :**
 - Granulométrie : Produit conforme **1.5–2.2 mm (90% minimum)**, analyse par tamisage automatisé.
 - Humidité résiduelle : Vérifiée par spectrométrie **NIR (<3%)**.
- **Sorties (O) :** MCP classifié (1.5–2.2 mm) → Refroidissement.
- **Client (C) :** refroidisseur

6. Refroidissement

- **Fournisseurs (S) :** Centrale de traitement d'air (CTA) : Air sec et filtré.
- **Entrées (I) :** MCP chaud (**$\leq 100^{\circ}\text{C}$**).
- **Processus (P) :**
 - Refroidisseur à lit fluidisé : Température de sortie 40°C , débit 35 tonnes/heure.
 - Dépoussiérage final : Filtres à manches.
- **Contrôles Qualité :**
 - Température : Surveillance en temps réel par **sondes PT100**.
- **Sorties (O) :** MCP prêt pour stockage (**40°C , 0% poussière**).
- **Client (C) :** Convoyeur vers silos de stockage.

7. Stockage en Silos

- **Fournisseurs (S) :** Ligne de refroidissement : MCP stabilisé.
- **Entrées (I) :** MCP sec et refroidi.
- **Processus (P) :**
 - Silos C/D : Capacité **800 tonnes chacun**, environnement contrôlé, fluidisation.
- **Contrôles Qualité :**
 - Tests de stabilité : Aucun aggloméré, pas de variation d'humidité.
- **Sorties (O) :** MCP stable
- **Client (C) :** Ligne d'ensachage (FFS) par des sacs de 25kg ou Big bag de 1.1 et 1 tonnes

8. Ensachage (Ligne FFS)

- **Fournisseurs (S) :**
 - Silos : MCP conforme.
 - Fournisseur de films : Bobines de polyéthylène (**PE 50 μm**).
- **Entrées (I) :**
 - MCP (**1.5–2.2 mm, 40°C**).
 - Film plastique, palettes vides.

- **Processus (P) :**
 - Machine FFS (Form-Fill-Seal):
 - Formage : Le film est façonné en sacs de 680mm de longueur.
 - Remplissage : **25 kg \pm 0.08 kg** (contrôle par cellule de charge).
 - Scellage : Température **140°C** (test d'étanchéité automatique).
 - Palettisation robotisée :
 - Robot 5 axes (payper) → **12 sacs/minute.**
 - Motif : **5 sacs/couche \times 8 couche/palette.**
 - Houssage : Film étirable appliqué à **15 tours/palette.**
- **Sorties (O) :**
 - Paliers de **40 sacs (1Tonne \pm 2Kg)** → Entrepôt.
- **Client (C) :**
 - Clients finaux (agriculteurs, distributeurs).

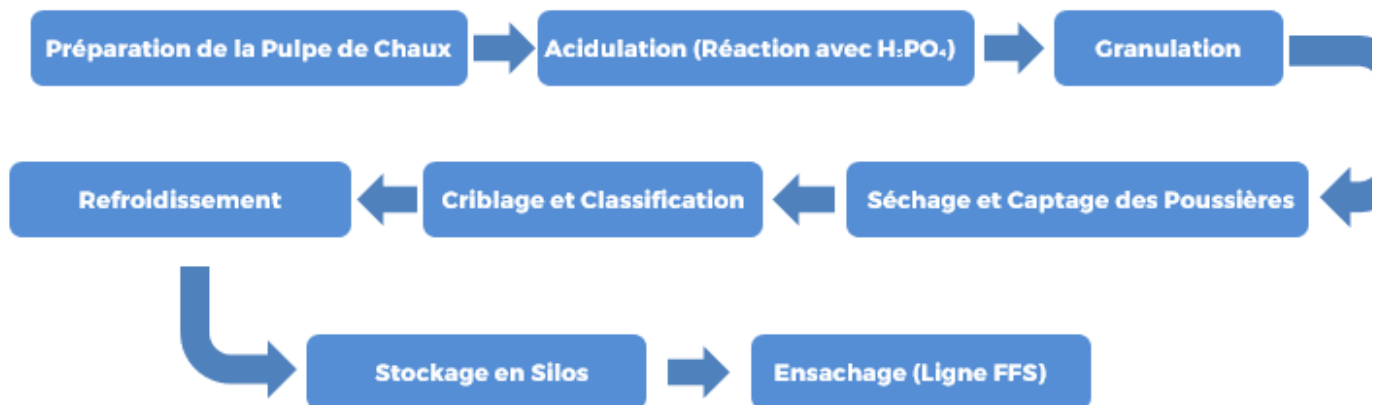


Figure 3 : résumé de la série des étapes de production de l'MCP

Chapitre 3 : Etude de processus de stockage et d'ensachage de l'MCP :

I. Introduction à le Hall de stockage :

Le hall de stockage de MCP est une installation essentielle du département de production, chargée de recevoir, stocker et conditionner le produit brut avant son expédition. Il comprend deux silos (A et B) pour le stockage en vrac, équipés de systèmes de criblage et de filtration des poussières, ainsi que deux lignes de remplissage de Big Bags et une ligne dédiée aux petits sacs (utilisant une machine FFS pour le formage, remplissage et scellage). Une fois emballé, le MCP est palettisé, houssé et stocké dans un espace dédié avant d'être expédié, soit en sacs, soit en vrac. Toutes les opérations sont supervisées depuis une salle de contrôle qui enregistre les transactions, suit les temps de traitement et assure la traçabilité pour les services administratifs. Ce hall travaille en étroite collaboration avec l'atelier de production, le laboratoire de contrôle qualité et les services logistiques, formant ainsi une chaîne intégrée allant de la fabrication à la distribution du produit fini.

II. Vue d'ensemble du hall de stockage et d'ensachage :

Ce grand hall sert de zone centrale pour le stockage, le traitement et le conditionnement du produit final de phosphate monocalcique (MCP). Il est équipé des systèmes clés suivants :

| Équipement | Description |
|--------------------------------------|--|
| Deux silos (A et B) | Chaque silo dispose d'une capacité de stockage importante de 800 tonnes, offrant un espace suffisant pour le MCP fini. |
| Deux systèmes de criblage vibratoire | Chaque silo est relié à un système de criblage pour le contrôle de la qualité, utilisant un crible de 2,2 mm et un aimant pour éliminer la contamination métallique. Un système de filtration de l'air est intégré. |
| Système de chargement en vrac | Le hall dispose d'un système dédié capable de charger directement le MCP dans des véhicules de transport en vrac, avec une capacité allant jusqu'à 28 tonnes. Ce système est relié par des conduites aux deux silos A et B, offrant ainsi une flexibilité dans l'expédition en vrac. |

| Équipement | Description |
|--|--|
| Deux systèmes de remplissage de big bags | Deux stations de remplissage de big bags indépendantes sont présentes, chacune connectée à un des silos (une pour le silo A, l'autre pour le silo B). Ces systèmes automatisés sont conçus pour remplir efficacement de grands sacs de 1,2 tonne de produit MCP fini. |
| Système de machine FFS | Connecté au silo B ; Le silo B est spécifiquement relié à une ligne de conditionnement FFS sophistiquée. Le MCP est transporté depuis le silo B via une conduite jusqu'à une vis sans fin, qui alimente un élévateur menant à une trémie de pesée. Après une pesée précise à la trémie, le MCP s'écoule à travers une conduite directement dans la machine FFS. Ce système automatisé forme, remplit avec 25 kg de MCP, puis celle des sacs individuels. |
| Robot de palettisation | Une série de convoyeurs transporte ensuite les sacs scellés jusqu'à un robot de palettisation pour un empilement efficace sur les palettes. |
| Machine de Houssage (Emballage) | Enfin, une machine d'enroulement applique un film protecteur sur les palettes complètes, et un convoyeur final permet le ramassage par chariot élévateur pour le transfert vers la zone de stockage. |
| Zone de stockage | Le hall dispose de zones de stockage dédiées pour les big bags de 1,2 tonne remplis ainsi que pour les sacs de 25 kg palettisés, assurant un entreposage organisé et accessible des produits finis. |
| Salle de surveillance et de contrôle | Une salle de surveillance et de contrôle dédiée, située dans le hall, permet de surveiller les opérations d'ensachage et de stockage, garantissant ainsi l'efficacité et la sécurité. |
| Tableau 1 : Vue d'ensemble du hall de stockage et d'ensachage | |

III. Opérations et équipements de Hall de stockage :

Le hall de stockage et d'ensachage est équipé de **deux lignes d'ensachage indépendantes**, chacune alimentée principalement par l'un des deux silos de 800 tonnes (silo A et silo B). Les deux lignes intègrent des systèmes de criblage similaires au départ pour garantir que le produit final MCP est propre et conforme à la taille souhaitée (maximum 2,2 mm).

1. Criblage initial (silos A et B) :

Le produit MCP sortant du silo A ou B passe d'abord par un système de criblage vibratoire. Chaque sortie de silo est directement reliée à son propre système de criblage vibratoire. Ces systèmes sont dédiés pour le contrôle de la qualité, utilisant un crible de 2,2 mm pour s'assurer que seules les particules de MCP inférieures ou égales à 2,2 mm passent.

De plus, chaque système intègre un aimant pour éliminer efficacement toute contamination métallique, comme les particules de rouille provenant des conduites de la ligne de production. Un système intégré de filtration de l'air extrait en continu la poussière générée pendant le criblage.

Les matières capturées, comprenant la poussière aspirée, les particules de rouille et le MCP de taille supérieure à 2,2 mm, sont ensuite dirigées pour un traitement et recyclage ultérieur dans l'atelier principal de MCP.

2. Système de remplissage de big bags (silos A et B) :

Le MCP criblé provenant des deux silos peut être dirigé vers des systèmes de remplissage de big bags identiques conçus pour des sacs de 1,2 tonne. Le processus implique un stockage temporaire dans une trémie de remplissage, située au-dessus d'une balance industrielle. Un opérateur place manuellement un big bag vide sur la sortie de la trémie, positionnée sur la balance.

Le poids cible est programmé sur la balance, et le processus de remplissage commence. La sortie de la trémie se ferme automatiquement lorsque le poids cible est atteint. Ensuite, l'opérateur active généralement un bouton d'injection d'air pour gonfler et former le big bag.

Le système de filtration d'air reste actif pendant toute l'opération pour collecter la poussière générée. Une fois le poids programmé atteint, le remplissage s'arrête automatiquement. L'opérateur active ensuite un convoyeur pour déplacer le big bag rempli de la balance vers la ligne principale. À la fin de ce convoyeur, un autre opérateur scelle manuellement le haut du big bag. Enfin, un chariot élévateur transporte le big bag scellé vers une zone de stockage désignée dans le hall ou directement vers un camion en attente pour l'expédition.

3. Remplissage vrac connecté au silo A :

Le hall d'ensachage et de stockage comprend également un système de chargement en vrac, spécifiquement conçu pour permettre le remplissage direct du produit MCP dans des camions de transport en vrac, avec une capacité pouvant atteindre 28 tonnes par chargement. Ce système est connecté directement au Silo A par une conduite courte, ce qui facilite le transfert rapide et efficace du produit.

Il est important de noter que cette unité de remplissage vrac est située à l'extérieur du hall, à proximité immédiate du Silo A. Cette configuration a été choisie afin de libérer les opérations de transport en vrac des contraintes internes et, surtout, d'éviter la dispersion de poussière à l'intérieur du hall pendant les phases de remplissage. Grâce à sa position extérieure et à la courte distance avec le silo, la conduite de transfert est réduite, ce qui simplifie l'installation, réduit les pertes de produit, et améliore l'efficacité du processus.

Une fois le véhicule de transport positionné sous le point de déchargement, l'opérateur peut initier le processus de remplissage en ouvrant progressivement la vanne de sortie. Un système de pesage peut être intégré pour contrôler la quantité exacte de produit chargée. Le système est également doté d'un dispositif de confinement de la poussière pour éviter toute dispersion vers l'environnement extérieur.

4. Ligne d'ensachage :

Le silo B alimente une ligne automatisée de conditionnement composée d'une machine FFS et d'un système de palettisation robotisé. Le MCP criblé est d'abord transféré vers une trémie de pesée via une vis sans fin et un élévateur. Une fois la trémie pleine, la machine FFS forme, remplit et scelle automatiquement des sacs de 25 kg, à partir d'un film plastique PE. Le processus de pesée est précis, avec un double débit de remplissage permettant une tolérance fine (± 80 g).

Après le scellage, les sacs sont transportés par convoyeur vers une station d'étiquetage automatique, où un ticket avec les informations produit est apposé. Ensuite, un bras robotisé à 5 axes palettise les sacs sur une palette vide (8 couches \times 5 sacs = 40 sacs par palette). La palette pleine est dirigée vers une machine d'emballage qui l'enveloppe d'un film plastique protecteur.

Enfin, la palette emballée est évacuée par convoyeur et récupérée par chariot élévateur pour être stockée dans la zone prévue du hall. Un système de filtration d'air dédié est également activé pendant tout le cycle pour capter la poussière générée et protéger les équipements internes.

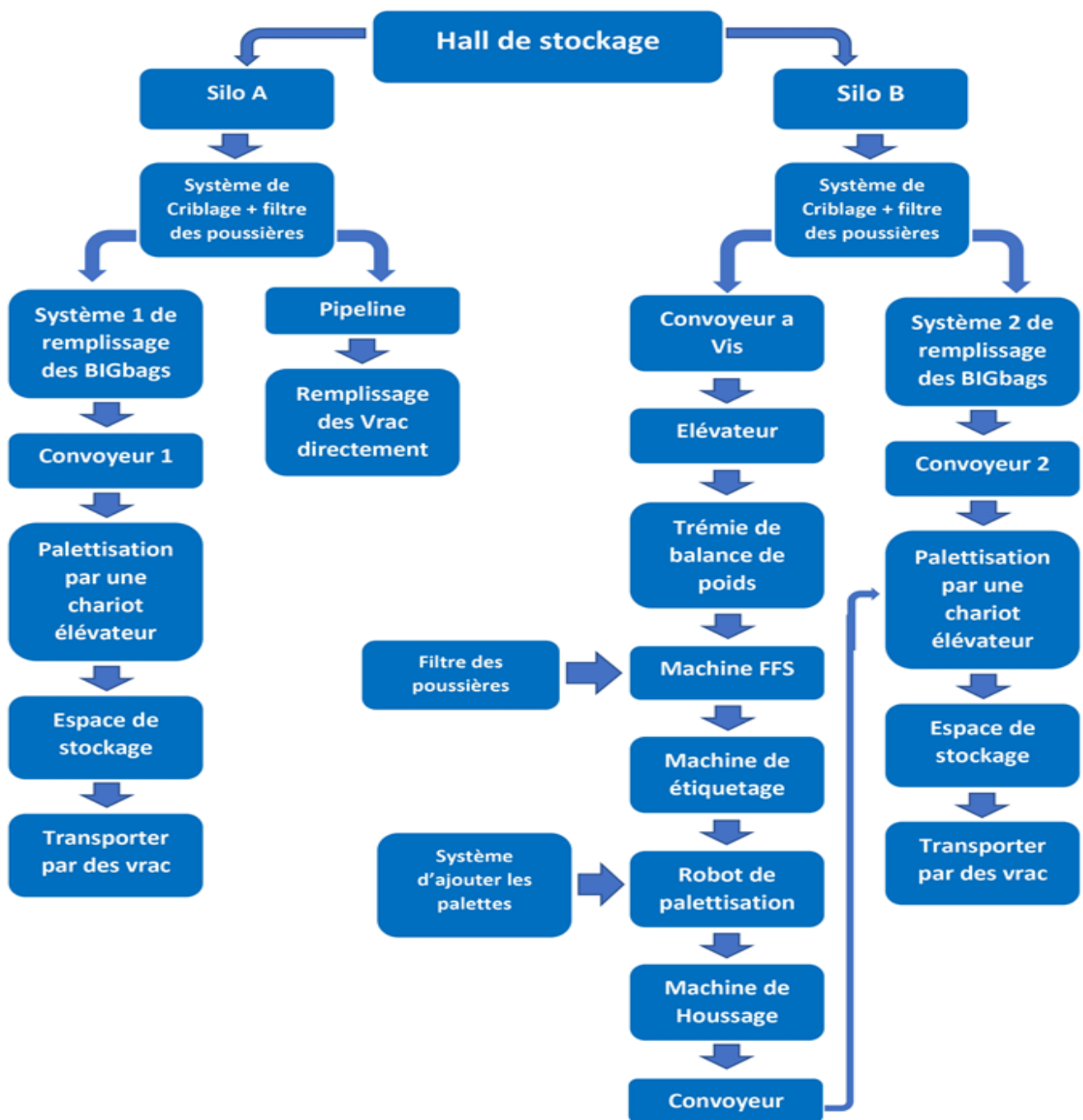


Figure 4 : Organigramme Général des Opérations du Hall de Stockage

Chapitre 4 : Etude et Analyse du processus de la ligne d'ensachage de l'MCP

I. Présentation des équipements de la ligne :

1. Les équipements et les machines principale de la ligne :

1.1. Machine d'ensachage principale :

La machine d'ensachage de la société Payper est une machine de type FFS (Form, Fill & Seal) spécialisée dans l'emballage de produits en granulés ou à fluidité par gravité. Le modèle ASSAC L10 est conçu pour former des sacs à partir d'une bobine de film tubulaire, les remplir avec le produit MCP, et les sceller de manière automatisée. Cette machine est capable de produire environ 10 sacs par heure, avec des sacs pleins pesant entre 10 et 50 kg. Elle est équipée de divers systèmes pour assurer une opération efficace et sûre, y compris un débobineur, un système de perforation, des systèmes de soudure pour les coins et le fond des sacs, un compacteur, et une interface utilisateur intuitive pour la gestion des recettes et des paramètres de production.



Figure 5 : Description de la machine ASSEC L10

1.2. Robot de palettisation :



Figure 6 : Robot PAYPER 5 Axes

La machine de palettisation de la société Payper est un système automatisé d'une type robot articuler chaîne ouverte de 5 axes, spécialisé dans la manutention et la palettisation de sacs ou de charges lourdes. Le modèle Robot 5 Axes est conçu pour manipuler avec précision et efficacité les charges, les plaçant sur des palettes de manière organisée et stable.

| Caractéristiques Techniques | Aperçu |
|--|--|
| 5 Axes de Mouvement | Le robot est équipé de 5 axes de mouvement, lui permettant une grande flexibilité et une précision dans la manipulation des charges |
| Système de Prise (End effector) | Le robot est équipé d'un système de prise (main robotique) capable de saisir et de positionner les sacs de manière précise. |
| Chargeur automatique des palettes | Ce dispositif contient une pile de palettes et lève les palettes supérieures au besoin, facilitant le processus de palettisation. |
| Centreur de Palettes | Système qui positionne les palettes de manière précise grâce à des cylindres pneumatiques. |
| Convoyeurs à Rouleaux | Zones facilitant le déplacement des palettes vides et pleines. |
| Interface Utilisateur | Le système est équipé d'une interface utilisateur intuitive pour la gestion des programmes de palettisation et la surveillance du processus. |

Tableau 2 : présentation des caractéristiques techniques du robot de palettisation

2. Présentation des Ensembles, Sous-Ensembles de la Ligne d'Ensachage :

Cette section présente une analyse approfondie des différents ensembles et de leurs sous-ensembles constituant la ligne d'ensachage de MCP. Chaque élément joue un rôle crucial et spécifique dans le processus global, de l'approvisionnement du produit à la palettisation finale.

La ligne d'ensachage est organisée autour des sections et des ensembles principales suivantes :

- a. Apport produit
- b. Ensacheuse (Machine ASSAC L10)
- c. Palettiseuse (convoyeur)
- d. Robot de palettisation (Robot PAYPER 5axis)
- e. Housseuse (machine de housage)

2.1. Apport Produit

| Sous-Ensemble | Fonctionnement |
|------------------------------------|---|
| SILOS Tampon | Les SILOS Tampon sont des réservoirs intermédiaires ou les deux trémies qui permettent de stocker temporairement le produit avant qu'il soit introduit dans la machine ASSAC L10 d'ensachage. Ils sont conçus pour assurer un flux régulier et constant du produit vers la trémie de remplissage. |
| Armoire Apportation Produit | L'Armoire Apportation Produit est un composant qui fournit le produit à la machine ASSAC L10 d'ensachage de manière contrôlée et régulière. Elle peut inclure des systèmes de pesée et de commande pour s'assurer que le produit est livré en quantités précises. |

Tableau 3 : Sous ensemble de l'Apport produit

2.2. Ensacheuse (Machine ASSAC L10) :

| Sous-Ensemble | Fonctionnement |
|-------------------------|--|
| Trémie de Réception | Ce composant reçoit le produit MCP et le guide vers le système d'alimentation. |
| Alimentation CGS | Ce système gère le dosage et l'introduction du produit MCP dans le bac de pesée. |
| Armoire de Commande CGS | Ce cabinet contient les systèmes de contrôle pour la CGS, assurant une alimentation précise et contrôlée du produit. |

| | |
|---------------------------------------|---|
| | |
| Débobineur | Ce composant est chargé d'alimenter la machine en film au fur et à mesure des besoins. |
| Circuit de Conduit Hydraulique | Ce circuit gère la distribution de la pression hydraulique nécessaire pour les mouvements des cylindres et autres actionneurs hydrauliques. |
| Groupe Perforé Sac | Ce mécanisme perce le film pour l'évacuation de l'air une fois le sac plein et scellé. |
| Ensemble de Coupe et Soudage | Ce composant est responsable de la coupe et de la soudure du film pour former le sac. |
| Soudage Fond du Sac | Ce système scelle le fond du sac pour en finir. |
| Châssis ASSAC L10 (ASSAC L10 Châssis) | Ce châssis est la structure de base de la station de remplissage, supportant tous les éléments mécaniques. |
| Bouche ASSAC à Double Clapet | Ce dispositif adapte le sac et le prépare pour l'entrée du produit. |
| Groupe d'Extraction des Sacs | Ce composant est chargé de retirer le sac une fois qu'il est plein et de le placer correctement sous le système de soudure de la bouche du sac. |
| Dispositif de Soudage | Ce dispositif scelle la bouche du sac une fois qu'il est plein. |
| Armoire de Commande Côté Avant | Ce cabinet contient les systèmes de contrôle pour gérer les processus de la machine d'emballage. |
| Armoire de Commande Côté Arrière | Ce cabinet contient également des systèmes de contrôle pour la machine, offrant une interface supplémentaire pour la gestion des opérations. |

Tableau 4 : Sous ensemble de l'ensacheuse

2.3. Palettiseuse :

| Sous-Ensemble | Fonctionnement |
|----------------------------------|--|
| Tapis Rouleaux Métalliques B.600 | Ce composant est un tapis conçu pour le mouvement régularisé des sacs une fois qu'ils sont pleins. Les rouleaux métalliques B.600 sont conçus pour supporter le poids des sacs et faciliter leur déplacement vers la prochaine étape de palettisation. |
| Convoyeur à Rouleaux | Ce composant est un élément essentiel pour le transport des sacs de l'unité de palettisation à l'autre. Il permet de déplacer les sacs sur les palettes de manière ordonnée et précise, en préparant ainsi la formation de la palette complète. |

Tableau 5 : Sous ensemble de la Palettiseuse

2.4. Robot Palettiseuse :

| Sous-Ensemble | Fonctionnement |
|---|---|
| Main Robot | Ce composant est l'élément actif qui manipule les sacs et les place sur les palettes. Il est conçu pour travailler de manière précise et rapide, optimisant ainsi l'efficacité de l'ensemble du processus de palettisation. |
| Corps Robot | Le corps du robot abrite de la structure et des mécanismes nécessaires pour le mouvement et la stabilité du bras robotique. Il soutient et pilote les mouvements de la main robotique. |
| Chariot Élévateur Distributeur | Ce chariot est chargé de déplacer les palettes vides vers le niveau de palettisation et de les ramener à la zone de stockage une fois que les palettes sont chargées. |
| Convoyeur à Rouleaux pour Palettes N°1 | Ce convoyeur est utilisé pour transporter les palettes chargées de sacs d'une zone à une autre, par exemple, de la zone de palettisation à la zone de stockage. |
| Centreuse des Palettes | Cette unité est responsable de s'assurer que les palettes sont correctement alignées et centrées avant le chargement, ce qui facilite le processus de palettisation et améliore la sécurité des opérations. |
| Armoire de Commande Robot OKURA | Ce cabinet contient les systèmes de contrôle et les interfaces pour piloter et programmer le robot. Il permet aux opérateurs de configurer et de superviser les tâches du robot. |
| Tableau 6 : Sous ensemble de la Robot de palettisation | |

2.5. Housseuse (la machine de Houssage)

| Sous-Ensemble | Fonctionnement |
|---------------------------------|---|
| Convoyeur à Rouleaux d'Entrée | Ce composant est responsable du transport initial des sacs vers la zone de stockage. Il assure le déplacement des sacs de manière ordonnée et contrôlée. |
| Chariot de Levage | Le chariot de levage est utilisé pour transporter les sacs de la zone de production vers la zone de stockage. Il est conçu pour s'adapter aux différents niveaux de stockage. |
| Convoyeur à Rouleaux Principale | Ce tapis principal est utilisé pour le transport des sacs de la zone de production vers la zone de stockage. Il est conçu pour supporter un grand nombre de sacs et pour fonctionner de manière continue. |

| | |
|--|---|
| Système d'Ouverture du Film | Ce système est chargé d'ouvrir le film pour la formation des sacs. Il est essentiel pour assurer que le film est correctement positionné et ouvert pour la production. |
| Convoyeur à Rouleaux Sortie N°1 | Ce composant est chargé de transporter les sacs une fois qu'ils ont été empilés sur les palettes. Il les guide vers la zone de stockage final. |
| système d'inhibition convoyeur à rouleaux pour Housseuse | Ce système est utilisé pour s'assurer que les sacs ne tombent pas en dehors de la palette pendant le processus de palettisation. |
| Système Support et Transport du Film | Ce système gère le film de manière sécurisée et contrôlée tout au long du processus de production, de l'ouverture au transport vers la zone de stockage. |
| Armoire Housseuse | L'armoire de la Housseuse contient les systèmes de contrôle et les interfaces utilisateur pour piloter et programmer la machine. Elle est conçue pour s'assurer une gestion efficace et précise des opérations de stockage. |
| Système de Sécurité des Portes | Ce système est chargé de s'assurer la sécurité des opérateurs et des produits en évitant les accidents et les dommages aux biens. |
| Tableau 7 : Sous ensemble de la machine de Houssage | |

II. Présentation détaillée du processus de ligne d'ensachage de l'MCP :

Le silo B alimente également une ligne dédiée à la machine FFS pour les sacs de 25 kg. Après le criblage (identique à celui du silo A), le MCP s'écoule via une conduite vers une vis sans fin située au niveau du sol. Cette vis alimente un élévateur, qui élève le MCP jusqu'à la trémie de pesée de la machine FFS. Cette trémie stocke temporairement le MCP ; lorsqu'elle est pleine, le remplissage est automatiquement stoppé pour éviter tout débordement.

1. Workflow de la ligne d'ensachage :

Le processus débute au silo B où le MCP criblé s'écoule via une conduite vers un convoyeur à vis. Ce convoyeur alimente un élévateur qui amène le produit jusqu'à la trémie de pesée de la machine FFS. Lorsque la trémie est pleine, le remplissage s'arrête automatiquement pour éviter les débordements. Le MCP est ensuite conditionné dans la machine FFS, puis les sacs passent directement à l'étiqueteuse qui appose les informations nécessaires. Un système de palettisation prenant en charge l'ajout des palettes et un robot de palettisation positionnent ensuite les sacs. La palette est finalement enveloppée par une machine de houssage avant qu'un chariot élévateur ne la transporte vers la zone de stockage en attendant le chargement en vrac.

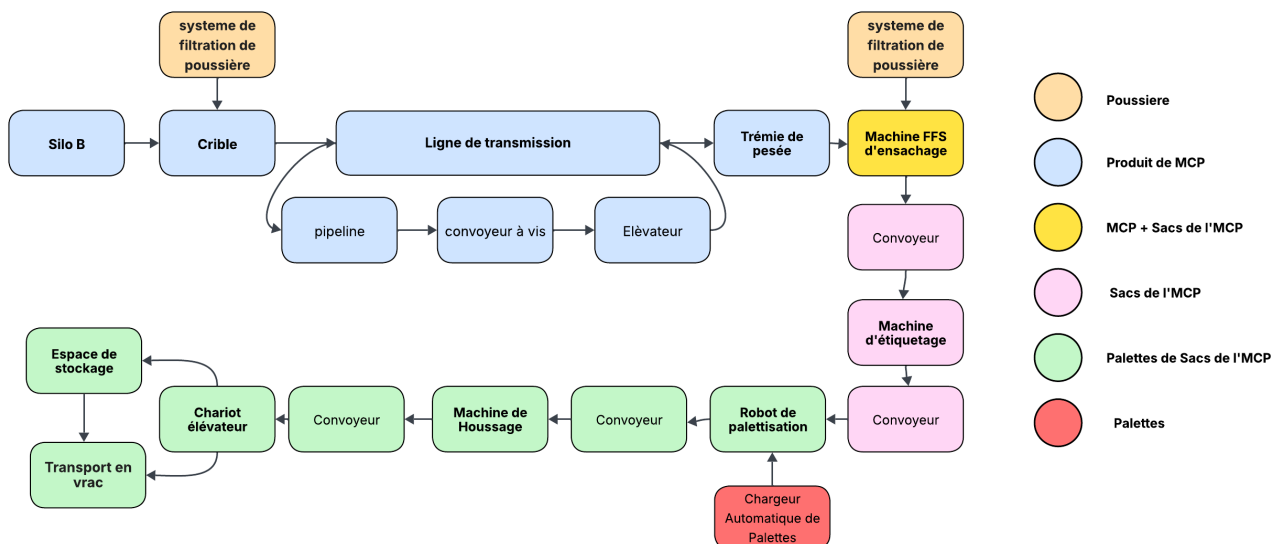


Figure 7 : Diagramme représentatif du workflow de la ligne d'ensachage

2. Workflow de la machine FFS :

Une fois activée par l'opérateur, la machine FFS commence le processus d'ensachage en déroulant et mesurant le rouleau de film PE selon la longueur de sac prédéfinie (680 mm pour les sacs Phosfeed 21 de 25 kg). La machine tire le film, le mesure, le coupe, puis scelle le fond du sac. Ensuite, le sac descend de la longueur mesurée jusqu'à la section de remplissage, où les 25 kg de MCP préalablement pesés sont déversés directement via une conduite reliée au système de pesée situé au-dessus.

Le système de pesée fonctionne en parallèle avec la formation du sac. L'ouverture de la trémie se fait en deux phases :

- Commencent par une ouverture à débit élevé permet de verser rapidement environ 20 kg de MCP sur la balance.
- Puis, une ouverture à débit réduit, régulée avec précision, permet d'atteindre exactement les 25 kg cibles avec une tolérance de ± 80 g, selon les retours de la balance.

Une fois le sac positionné dans la section de remplissage, les 25 kg de MCP sont déversés à l'intérieur. Ensuite, une manivelle mécanique, actionnée par un moteur électrique avec encodeur (utilisant un mécanisme bielle-manivelle pour convertir le mouvement rotatif en

mouvement linéaire), transporte le sac rempli vers la section de scellage, où le haut du sac est scellé. Le sac scellé sort ensuite de la machine via un convoyeur vers le robot de palettisation.

Pendant tout le fonctionnement de la machine FFS, un système de filtration d'air dédié, distinct de celui du hall principal, extrait activement la poussière générée à l'intérieur de la machine. Ce système est composé d'une petite salle de filtration extérieure contenant quatre filtres, activée par l'opérateur lors de la mise en marche de la machine FFS. Cela évite l'accumulation de poussière et protège les composants internes de la machine contre d'éventuels dommages.

3. Palettisation et houssage des palettes de sacs finis de l'MCP :

Une fois que la machine FFS (Form-Fill-Seal) a terminé le remplissage et le scellage des sacs de 25 kg de MCP, ces derniers sont acheminés par un convoyeur vers une station d'étiquetage. À ce stade, une étiqueteuse automatique applique un ticket sur chaque sac. Ce ticket contient des informations essentielles sur le produit, notamment la date de production, la date de péremption, ainsi que d'autres détails relatifs au produit.

Après l'étiquetage, le même convoyeur transporte le sac jusqu'à l'extrémité de la ligne, où un système pneumatique place une palette vide sur le convoyeur de palettisation. Un bras robotisé se charge ensuite d'empiler les sacs sur la palette, en formant une disposition structurée de 8 couches, chacune contenant 5 sacs (soit un total de 40 sacs par palette).

Une fois la palette entièrement chargée, le convoyeur l'achemine vers la station d'emballage. À cet endroit, un système de banderolage automatique enveloppe l'ensemble de la palette avec un film plastique transparent, assurant un scellage complet sur les côtés ainsi qu'un recouvrement supérieur pour garantir la protection durant la manutention et le stockage. Enfin, la palette emballée est transférée par le convoyeur jusqu'au point de déchargement, où un chariot élévateur la prend en charge pour la transporter vers la zone de stockage prévue à cet effet dans le hall.

III. Analyse de la ligne et identification des pistes d'amélioration :

1. Problème des émissions de poussière :

1.1. Identification des sources de problème des émissions de poussière :

1.1.1. Sources externes :

La halle de stockage est située à proximité de l'atelier de production de MCP, en activité 20 heures sur 24, 7 jours sur 7. Cette proximité entraîne une exposition constante à un environnement poussiéreux en raison des émissions générées par le processus de production.

1.1.2. Sources internes :

a. Systèmes de criblage des silos A et B :

Lorsque les vannes des silos sont activées pour alimenter les lignes d'ensachage et les systèmes de remplissage de big bags, le MCP passe d'abord par un système de criblage vibrant qui trie les particules selon la granulométrie souhaitée. Cette opération génère une quantité importante de poussière, en raison des vibrations du produit, provoquant un nuage visible autour des cribleurs.

Normalement, un système de filtration d'air est prévu pour aspirer et filtrer les poussières générées avant rejet dans l'environnement. Cependant, lors du dernier contrôle, il a été constaté que ce système de filtration est hors service, principalement en raison de l'absence de programme de maintenance préventive assurant les vérifications, les inspections et les interventions nécessaires. Ainsi, le système de criblage fonctionne sans filtration, contribuant considérablement à la pollution de l'air dans la halle.

b. Systèmes de remplissage des big bags :

Le processus d'ouverture des vannes pour remplir les big bags génère également un nuage de poussière. Bien que ces lignes soient normalement équipées de filtres, seule l'une des deux lignes de remplissage en est effectivement dotée. L'autre a vu son système de filtration retiré après une panne, sans remplacement à ce jour, ce qui accentue la propagation des poussières.

c. Remplissage par la machine FFS (Form-Fill-Seal) :

La machine FFS possède une zone de remplissage des sacs qui émet de la poussière à l'intérieur de sa structure. Toutefois, cette machine est équipée d'un système de filtration interne efficace, qui aspire et filtre l'air chargé de poussières pendant le processus de remplissage. De plus, sa structure est entièrement carénée par un cadre en aluminium et des panneaux en verre, la protégeant des poussières ambiantes.

2. Solutions et recommandations :

2.1. Solutions de gestion :

Il est indispensable de mettre en place un programme de maintenance préventive structuré pour assurer la durabilité des équipements critiques, notamment les systèmes de filtration. Ce programme doit comporter un calendrier clair des tâches de maintenance, d'inspection et d'entretien.

Par ailleurs, une gestion efficace des interventions peut être assurée via un logiciel de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) ou par l'intégration au système SAP, afin de garantir la traçabilité, la planification et l'optimisation des opérations de maintenance.

2.2. Solutions techniques :

Deux solutions efficaces, simples à mettre en œuvre et raisonnables en termes d'investissement peuvent être proposées :

a. Ventilation et extraction de poussière (solution active) :

Plutôt que d'installer un système de filtration centralisé – coûteux à l'exploitation – ou des ventilateurs HVLS (High Volume Low Speed), qui ne sont pas adaptés à la hauteur de la toiture ni à l'optimisation de l'espace vertical de stockage, il est recommandé d'installer de grands ventilateurs extracteurs muraux industriels.

Ce type de ventilation permet une extraction ciblée et continue de l'air chargé de poussières vers l'extérieur, améliorant la qualité de l'air ambiant. Le diamètre et la capacité des ventilateurs devront être dimensionnés en fonction des dimensions de la halle et du volume d'air à renouveler.



Figure 8 : Exemple de 120*120 cm ventilateur industrielle mural

b. Enceinte de protection pour la ligne d'ensachage (solution passive) :

La ligne d'ensachage est la zone la plus sensible de la halle de stockage, car elle contient des capteurs, des actionneurs, des interfaces HMI et des boutons tactiles, tous vulnérables à l'environnement poussiéreux. Or, cette ligne occupe une petite fraction de l'espace total de la halle.

Étant donné que la ligne d'ensachage est linéaire et bien définie, une enceinte de protection dédiée peut être installée. Cette structure, construite à l'aide de profilés en aluminium type T-slot et de panneaux en polycarbonate solide (Lexan, Makrolon ou Tuffak), permettrait d'isoler la ligne des poussières environnantes.

Elle constitue une barrière passive efficace, assurant la protection des composants sensibles tout en maintenant la visibilité et l'accessibilité nécessaires à l'exploitation et à la maintenance de la ligne.



Figure 9 : Exemple des châssis couverture des machine industrielle

3. Établissement d'un Programme de Maintenance Préventive de la Ligne :

3.1. Identification du problème :

Actuellement, la ligne d'ensachage ne dispose pas d'un programme de maintenance préventive structuré, documenté et appliqué de manière rigoureuse. Cette absence de planification engendre plusieurs dysfonctionnements notables :

- Un manque de transparence sur les interventions réalisées ;
- Une gestion désorganisée des pièces de rechange (PDR) et des ressources humaines disponibles ;

- Des délais d'intervention excessifs lors des pannes imprévues, ce qui impacte fortement la continuité de la production ;
- Une gestion aléatoire et réactive plutôt que proactive, provoquant des pertes en temps, en rendement net de production et en coûts opérationnels.

En l'absence d'une maintenance planifiée, chaque arrêt de machine devient une urgence nécessitant une mobilisation immédiate et non anticipée des services concernés, ce qui désorganise l'ensemble de la chaîne de production.

Mais surtout, l'absence d'un programme de maintenance préventive bien structuré augmente considérablement la fréquence et la gravité des pannes des équipements. En effet, sans interventions régulières planifiées (inspection, réglage, remplacement programmé de pièces critiques), les composants s'usent de manière non maîtrisée, ce qui mène inévitablement à des arrêts imprévus et coûteux.

Un programme bien conçu permet donc d'anticiper les défaillances, de prolonger la durée de vie des équipements et d'assurer un fonctionnement plus fiable et stable de la ligne d'ensachage.

3.2. Recommandations et étapes proposées :

Pour répondre à ces problématiques, plusieurs recommandations techniques sont proposées, selon une démarche structurée :

3.2.1. Application des Normes, Méthodes et Outils d'Analyse :

L'approche proposée s'appuie sur des outils reconnus pour bien structurer une maintenance préventive efficace :

Pour mettre en place une stratégie de maintenance préventive cohérente et efficace, il est essentiel de s'appuyer sur des méthodes éprouvées issues des meilleures pratiques industrielles. Ces outils permettent d'identifier les faiblesses du système, de hiérarchiser les priorités et d'optimiser les interventions sur la ligne d'ensachage.

- **Méthode AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, Cette méthode vise à recenser les modes de défaillance potentiels des composants, à évaluer leurs effets sur la production et la durée de vie de l'équipement, puis à prioriser les éléments critiques selon leur niveau de criticité. Elle permet d'orienter les actions de maintenance vers les points les plus sensibles afin de réduire les risques de panne.
- **Diagramme d'Ishikawa, 5M** : Cet outil est essentiel pour structurer l'analyse des causes racines des pannes récurrentes. En explorant les différentes catégories possibles de causes (méthodes, machines, main d'œuvre, milieu, matière), il permet de visualiser

clairement les sources possibles d'un dysfonctionnement, facilitant ainsi la mise en place d'actions correctives durables.

- **Méthode des 5 Pourquoi (5 Why)** : Utilisée en complément du diagramme d'Ishikawa, cette méthode consiste à remonter de manière itérative jusqu'à la cause profonde d'un problème en posant successivement la question « pourquoi ? ». Elle permet d'éviter les solutions superficielles et d'intervenir de manière ciblée sur les véritables origines des défaillances.
- **Analyse de Pareto (20/80)** : Fondée sur le principe que **20 % des causes génèrent 80 % des effets**, cette méthode permet d'identifier les pannes les plus fréquentes ou les plus coûteuses. En appliquant ce principe à l'historique des défaillances de la ligne, on peut concentrer les efforts de maintenance sur les problématiques majeures, et ainsi optimiser les ressources et les résultats.
- **Analyse de fréquence des défaillances** : Cette approche permet de quantifier la récurrence des pannes par type de composant ou de fonction. En s'appuyant sur les données d'historique (ou en les collectant progressivement), elle facilite la mise en place d'actions ciblées telles que l'inspection périodique, le graissage, le réglage ou le remplacement préventif des pièces.
- **Maintenance prédictive** : Mise en place d'un système de surveillance proactive pour anticiper les pannes futures.

Ces outils permettent d'établir une **stratégie de maintenance raisonnée**, assurant une meilleure organisation des tâches selon leur priorité et leur impact potentiel sur le fonctionnement de la ligne.

3.2.2. Analyse des ressources : PDR, main-d'œuvre et sous-traitance

Avant toute implémentation, une analyse critique des ressources est nécessaire :

- État des stocks de pièces de rechange (PDR) : disponibilité, délais d'approvisionnement, criticité ;
- Compétences et disponibilité de la main-d'œuvre : internes ou externes, besoins en formation ;
- Capacité de recours à la sous-traitance : en cas d'interventions spécifiques ou urgentes.

L'objectif est d'adapter le programme de maintenance aux **capacités réelles** de l'entreprise tout en **optimisant les ressources existantes**.

3.2.3. Élaboration d'un programme de maintenance préventive détaillé

Il s'agit de mettre en place un plan et un calendrier de maintenance basé sur :

- Plan de maintenance déjà réalisé par le service de maintenance ;

- L'analyse des historiques de pannes ;
- Les fréquences d'intervention recommandées par les constructeurs ou observées sur le terrain.

L'objectif principal de la mise en place d'un programme de maintenance préventive est d'assurer une planification rigoureuse et anticipée des interventions sur les équipements. Ce programme permettra d'identifier les tâches à effectuer selon une périodicité bien définie qu'elle soit journalière, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle en fonction de la criticité des composants et des recommandations constructeurs.

Il vise également à garantir la disponibilité et la fiabilité des équipements, en réduisant le risque de défaillances imprévues.

De plus, il contribue à réduire le taux de pannes critiques, limitant ainsi les interruptions de production. Enfin, une planification efficace allège la pression sur les équipes de maintenance en évitant les interventions d'urgence et en facilitant une meilleure répartition des ressources au fil du temps.

3.2.4. Mise en place d'un système GMAO :

Pour garantir une gestion efficace, il est fortement recommandé d'implémenter une GMAO gestion de maintenance assisté par ordinateur adaptée aux besoins de la ligne d'ensachage. Celle-ci permettra :

- La planification automatique des tâches de maintenance (inspection, contrôle, remplacement des PDR) ;
- Le suivi de la disponibilité des ressources : main-d'œuvre, pièces, outils de diagnostic ;
- La gestion des interventions : historique, durée, efficacité, pièces utilisées ;
- La digitalisation du flux de communication entre l'administration, les techniciens et les opérateurs ;
- L'archivage des données techniques : rapports d'interventions, statistiques de pannes, indicateurs de performance.

En intégrant une GMAO, l'entreprise pourra assurer une traçabilité complète des opérations de maintenance, renforcer la transparence des actions réalisées, et disposer d'une base de données fiable pour l'analyse continue et l'amélioration du système.

Chapitre 5 : Mise en place d'un system de suivi et de traçabilité des données de la ligne d'ensachage

I. Introduction :

1. Identification de la Problématique :

L'évaluation de la performance passe nécessairement par une analyse approfondie des données de fonctionnement : fréquence des défaillances, nature des pannes, causes racines, comportement des équipements dans le temps, etc. Ces données permettent aussi d'appliquer des outils d'analyse tels que la loi de Pareto (20/80) pour cibler les machines ou composants générant le plus grand nombre de pannes avec un minimum d'éléments.

Or, cette démarche d'analyse ne peut être réalisée qu'à condition de disposer d'un système structuré de collecte de données, permettant de suivre le comportement de la ligne sur une période donnée. Cela implique :

- La saisie manuelle systématique des interventions et diagnostics réalisés par les techniciens et opérateurs ;
- L'intégration de ces données dans une base exploitable, pour alimenter des tableaux de bord et calculer des indicateurs de performance clés (KPI).

Actuellement, l'absence d'un système de traçabilité fiable et centralisé pour les données opérationnelles de la ligne constitue un frein majeur à toute démarche d'amélioration continue. Cela empêche non seulement d'analyser objectivement les performances, mais aussi d'identifier les leviers d'optimisation du programme de maintenance.

2. Objectif de ce chapitre :

Ce chapitre a pour ambition de présenter de manière synthétique la solution retenue afin de garantir une traçabilité rigoureuse et une analyse fine de la performance de la ligne d'ensachage, en s'appuyant exclusivement sur la saisie directe des opérateurs. Nous y décrirons comment, à partir des données terrains collectés chaque jour, il est possible de construire un système cohérent et évolutif pour visualiser l'ensemble des événements de production et d'arrêt.

L'approche proposée repose sur la valorisation du savoir-faire des équipes de production, qui deviennent les premiers acteurs de la fiabilité des données. Ces informations, centralisées et historisées, serviront de fondation à des tableaux de bord interactifs, conçus pour mettre en évidence les tendances, Déceler rapidement les points de blocage critiques et prioriser les actions stratégiques pour une amélioration continue optimisée.

II. Etude du cycle de production et la structure des paramètres d'analyse de performance

1. Cycle de production de la ligne :

1.1. Aperçu sur la Cycle de production de la ligne :

Au sein de l'entreprise OCP, la ligne d'ensachage du produit MCP, située dans le Hall de stockage, opère selon un programme de production flexible. La ligne fonctionne quotidiennement entre 8 et 14 heures, réparties sur deux équipes d'opérateurs : une première de 6h00 à 14h00 et une seconde de 14h00 à 22h00. Cette plage horaire de 6h00 à 22h00 constitue la période d'ouverture effective de la ligne. La variabilité est notable au niveau hebdomadaire, avec une activité moyenne de 4 à 5 jours par semaine, sachant que certaines semaines peuvent voir la ligne fonctionner quotidiennement, tandis que d'autres connaissent des arrêts complets. Ce programme doit donc être géré avec agilité pour optimiser l'utilisation des ressources et répondre aux besoins de production du MCP.

Compte tenu de ce programme, la détermination du cycle de production à 24 heures (journalier) s'avère la plus pertinente pour l'analyse de performance de la ligne d'ensachage du MCP. Choisir un cycle de 24 heures permet d'établir une base de mesure constante et uniforme d'un jour à l'autre, quel que soit le nombre d'heures d'opération effective (8 à 14 heures) ou les arrêts de production. L'avantage principal est d'englober la totalité du temps calendaire sur une journée complète, intégrant ainsi de manière systématique les périodes d'inactivité planifiées (comme les 6h00 d'arrêt entre 22h00 et 6h00, et les éventuels arrêts de production au-delà des 14h d'activité) comme des pertes mesurables dès le niveau "Fermeture" ou "Arrêts Planifiés" selon la nomenclature AFNOR NF E 60-182. Cette approche journalière facilite la comparaison des performances quotidiennes, l'identification rapide des sources de pertes de disponibilité, de performance et de qualité sur une base régulière, et permet des ajustements tactiques immédiats. Elle simplifie également le reporting et l'alignement avec les périodes comptables ou de suivi de production courantes, offrant une vue complète et cohérente de l'efficacité opérationnelle de la ligne au fil du temps.

1.2. Architecture de cycle de production :

Pour analyser et optimiser la performance d'une ligne de production, il est essentiel de comprendre comment le temps est utilisé (ou perdu) tout au long du cycle. Le diagramme ci-dessous, inspiré des principes de la norme AFNOR NF E 60-182 (et son équivalent international ISO 22400), offre une architecture standardisée pour décomposer le temps total d'un cycle de production. Cette approche structurée permet d'identifier précisément les différentes catégories de temps, des périodes d'ouverture de l'usine aux arrêts planifiés ou non, en passant par les pertes de cadence et la non-qualité, offrant ainsi une vision claire des sources de non-performance et des leviers d'amélioration.

1.2.1. Définition de la norme AFNOR (Association Française de NORmalisation)

L'AFNOR est l'organisme officiel de normalisation en France. Sa mission est d'élaborer, de publier et de promouvoir des normes françaises et de participer à la normalisation internationale (ISO) et européenne (CEN). Elle contribue ainsi à la qualité, la sécurité et la performance dans divers secteurs.

1.2.2. Définition de la norme AFNOR NF E 60-182

L'AFNOR NF E 60-182 est une norme nationale française qui définit les méthodologies de calcul des indicateurs de performance pour l'efficacité globale des moyens de production. Elle standardise la manière de mesurer des concepts comme la disponibilité, la performance, la qualité et, surtout, le Taux de Rendement Synthétique (TRS), afin d'assurer une compréhension et une comparabilité uniformes des données de production. Le diagramme que vous avez fourni en est une illustration directe.

1.2.3. Définition de la norme ISO 22400 un équivalent national de l'AFNOR NF E 60-182 :

L'ISO 22400 est une norme internationale qui établit un cadre complet pour la définition, la mesure et le rapport des indicateurs clés de performance (KPI) pour la gestion des opérations de fabrication. Elle vise à assurer une cohérence mondiale dans l'évaluation de la performance manufacturière, couvrant un large éventail d'indicateurs au-delà de la seule efficacité des équipements.

1.2.4. Relation entre ISO 22400 et AFNOR NF E 60-182

La relation est celle de l'influence et de l'harmonisation internationale :

- L'AFNOR NF E 60-182 a été une base nationale importante qui a fortement influencé le développement de la norme internationale ISO 22400, notamment en ce qui concerne les méthodes de calcul du TRS (OEE).
- Aujourd'hui, l'ISO 22400 est la norme de référence internationale pour les KPI de fabrication. Bien que l'AFNOR NF E 60-182 reste conceptuellement valide, les organisations tendent à s'aligner sur l'ISO 22400 pour une cohérence et une reconnaissance globale. Les principes de décomposition du temps de votre diagramme sont d'ailleurs parfaitement compatibles avec l'approche de l'ISO 22400.

2. Structure de temps de cycle de production de la ligne selon la norme AFNOR NF E 60-182 :

| | | | | |
|---|--|--|---|--------------------|
| Temps total de cycle (par AFNOR NF 60 182, TT = 31jrs ou 24h) | | | | |
| Temps d'ouverture d'usine - TO | | | | Temps de Fermeture |
| Temps requis - TR | | | Arrêt Planifiée Pauses Réunions Formations Sous charges Préparation Nettoyage Maint. préventive | |
| Temps Brute TF - TB (Temps de fonctionnement) | | Arrêts non planifiés : Pannes Réglages Attentes personnels/matières | | |
| Temps de Disponibilité Technique ou Temps Net TDT - TN | | | | |
| Temps Utile - TU (temps production conforme) | Non qualité Rebuse ou retouches | | | |
| | | Ecart de cadence : Micro-arrêts Vitesse réduite | | |

Figure 10 : Architecture de Décomposition des Temps de Cycle de Production et Identification des Pertes selon la Norme AFNOR NF E 60-182

2.1. Temps Total de Cycle (TT)

Le Temps Total de Cycle (TT) représente la période globale sur laquelle l'analyse de la performance est effectuée. C'est le point de départ de toute la décomposition temporelle. La norme AFNOR NF E 60-182 offre ici une flexibilité en permettant de définir cette période.

Le choix de cette durée dépendra directement de l'objectif de l'analyse :

- une analyse quotidienne pour le suivi opérationnel immédiat
- une analyse hebdomadaire pour la détection des tendances à court terme et l'ajustement des plans de production.
- une analyse mensuelle pour le pilotage tactique et l'optimisation des performances globales.
- une analyse annuelle pour l'évaluation stratégique, la planification à long terme et l'aide à la décision managériale

2.2. Temps d'Ouverture d'Usine (TO)

Le Temps d'Ouverture d'Usine (TO) est la durée pendant laquelle l'usine ou la ligne de production est effectivement ouverte et susceptible de fonctionner. Il est obtenu en soustrayant le temps de Fermeture TF du "Temps Total de Cycle".

Workflow : $TO = TT - TF$

Le temps de Fermeture TF regroupe toutes les périodes où la ligne d'ensachage est délibérément inactive et non disponible pour la production. Cela inclut généralement les week-ends (si la ligne ne travaille pas 7j/7), les jours fériés et les périodes de fermeture annuelle.

2.3. Temps Requis (TR)

Le **Temps Requis (TR)** est la portion du "Temps d'Ouverture de la ligne" durant laquelle la production est effectivement planifiée et attendue. C'est le temps durant lequel l'équipement est requis pour produire. Il est calculé en déduisant les "Arrêts Planifiés" du "Temps d'Ouverture de la ligne".

Workflow : $TR = TO - \text{Temps des Arrêt Planifié}$

Les Arrêts Planifiés sont des périodes de non-production qui sont prévues et intégrées au calendrier de production. Ils ne sont pas considérés comme des dysfonctionnements, mais comme des interruptions nécessaires. Ils comprennent :

| | | |
|-------------|--|--|
| Maintenance | Maintenance préventive et Maintenance prédictive | Inspections |
| | | lubrification |
| | | remplacement de pièces usées |
| | Étalonnage | Ajustement des instruments de mesure (capteurs, balances). |
| | Mises à niveau | Installation de nouveaux logiciels, modules ou équipements. |
| Operations | Changements de série | Adaptation de la ligne pour un nouveau produit |
| | Nettoyage approfondi | Désinfection ou décontamination (obligatoire en agroalimentaire/pharmaceutique). |
| | Réapprovisionnement planifié | Pauses pour recharger les matières premières selon un planning. |
| | Arrêts de production | Pause, La pause déjeuner, la relève... |

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| Administratif/Organisationnel | Réunions | Briefings, réunions sécurité, revues de production. |
| | Sous-charges / Arrêts pour manque de demande | Périodes où la production est délibérément arrêtée car il n'y a pas suffisamment de commandes ou de besoin de stock. |
| | Formations | Sessions pour opérateurs ou techniciens |
| | Audits | Inspections qualité, sécurité ou environnementales. |
| | Exercices de sécurité | Simulations d'incendie, confinement. |
| | Inspections réglementaires | Visites des autorités (ex : contrôle DREAL, certifications ISO) |

Tableau 3 : Type et les catégories des Arrêts planifiées

2.4. Temps Brut de Fonctionnement (TB)

Le Temps Brut de Fonctionnement (TB), également appelé "Temps de Fonctionnement" ou "Temps de Charge", est le temps pendant lequel l'équipement était censé fonctionner, après soustraction de toutes les interruptions planifiées. C'est le temps maximal théoriquement disponible pour la production si aucun événement imprévu ne survenait. Il est obtenu en soustrayant les "Arrêts non planifiés" du "Temps Requis".

Workflow : $TB = TR - \text{Temps des Arrêts non-planifiées}$

Les Arrêts non planifiés sont des interruptions imprévues et non désirées qui empêchent la machine de fonctionner. Ce sont des pertes de disponibilité. Ils incluent principalement :

| | |
|---|--|
| Pannes | Dysfonctionnements ou ruptures d'équipement inattendus. |
| Réglages (non planifiés) | Ajustements imprévus ou corrections nécessaires pendant la production. |
| Attentes personnels/matières | Arrêts dus au manque d'opérateurs, de matières premières, de composants, ou de flux en amont/aval. |
| Tableau 4 : Type des Arrêts Non planifiées | |

2.5. Temps de Disponibilité Technique ou Temps Net (TDT - TN)

Le Temps de Disponibilité Technique (TDT), souvent appelé Temps Net (TN), est le temps réel durant lequel l'équipement a fonctionné, après déduction de tous les arrêts (planifiés et non planifiés). C'est le temps pendant lequel la machine est "en marche" mais pas nécessairement à sa vitesse nominale ou produisant des pièces conformes. Il est calculé en soustrayant les "Écarts de cadence" du "Temps Brut de Fonctionnement".

Workflow : $TN = TB - \text{Ecart de cadence}$

Les "Écarts de cadence" représentent les pertes de performance ou de vitesse. L'équipement tourne, mais il ne produit pas au rythme attendu (vitesse nominale). Ces pertes réduisent la capacité de production pendant le temps de fonctionnement. Ils comprennent :

| | |
|-----------------|--|
| Micro-arrêts | Très courts arrêts de la machine (quelques secondes à quelques minutes) qui ne sont pas toujours enregistrés comme des pannes complètes mais qui s'accumulent. |
| Vitesse réduite | La machine fonctionne en dessous de sa cadence maximale ou de sa vitesse de conception. Cela peut être dû à l'usure, à des problèmes de matière première, à des réglages sous-optimaux, ou à la compétence de l'opérateur. |

Tableau 5 : Type des écarts de cadence

2.6. Temps Utile (TU)

Le Temps Utile (TU), également appelé "Temps de production conforme", est le temps réel pendant lequel l'équipement a produit des pièces de bonne qualité à la vitesse nominale. C'est le temps qui contribue directement à la valeur ajoutée et à l'objectif de production. Il est obtenu en soustrayant les "Non qualité" du "Temps de Disponibilité Technique / Temps Net".

Workflow : $TU = TN - \text{Temps de production des Non-qualité}$

La "Non qualité" représente le temps perdu à cause de la production de pièces défectueuses ou nécessitant une reprise. Bien que la machine tourne et ait une certaine cadence, les produits fabriqués ne sont pas conformes, ce qui annule l'efficacité du temps passé. Cela

inclut les Rebus où Production des sacs non conforme et totalement inutilisables et destinées à la destruction.

3. Outils et paramètres d'analyse de performance :

3.1. Les indicateurs de performance clés KPIs :

Un Indicateur Clé de Performance (KPI), ou Key Performance Indicator en anglais, est une métrique mesurable qui permet d'évaluer l'efficacité et les progrès d'une organisation ou d'un processus vers l'atteinte de ses objectifs stratégiques ou opérationnels. Les KPI sont conçus pour fournir des informations pertinentes et exploitables, aidant les décideurs à comprendre la situation actuelle, à identifier les écarts par rapport aux attentes et à prendre des mesures correctives ou d'amélioration. Ils sont essentiels pour le suivi de la performance, la prise de décision éclairée et la promotion de l'amélioration continue.

3.1.1. Paramètres KPIs pour la Production

Les KPIs de Production sont spécifiquement conçus pour mesurer l'efficacité et l'efficacité des processus de fabrication. Ils se concentrent sur des aspects tels que le volume produit, la cadence, la qualité du produit fini, l'utilisation des équipements et la consommation des ressources. Des exemples incluent le Taux de Rendement Synthétique (TRS/OEE), le taux de rebut, le temps de cycle par unité ou la productivité horaire. L'analyse de ces indicateurs vise à optimiser les flux de production, à réduire les gaspillages et à maximiser la production conforme aux exigences, assurant ainsi une performance opérationnelle optimale.

| KPIs | Abréviation de | Formule |
|------|---------------------------------|---|
| TSE% | Taux stratégique d'engagement | $\frac{\text{temps d'ouverture d'usine (presence des operateurs, techniciens..)}}{\text{Temps de cycle standard (24h ou 30jrs)}}$ |
| TC% | Taux de charge | $\frac{\text{Temps requis}}{\text{temps d'ouverture d'usine (presence des operateurs, techniciens..)}}$ |
| TDT% | Taux de disponibilité technique | $\frac{\sum \text{temps de bon fonctionnement}}{\text{temps de production planifiée}}$ |

| | | |
|-------------|--------------------------------------|--|
| P% | Taux de Performance | $\frac{\text{Debit reele } (^{sac}/h)}{\text{debit Nominale } (^{sac}/h)}$ |
| Q% | Taux de Qualité | $1 - \frac{\sum \text{pieces non conforme}}{\sum \text{pieces produites}}$ |
| TRS% | Taux de rendement synthétique | $TDT\% \times P\% \times Q\%$ |
| | | $\frac{\text{Temps de production conforme}}{\text{temps requis}}$ |
| TRG% | Taux de rendement globale | $TRS\% \times TC\%$ |
| TRE% | Taux de rendement Economique | $TRS\% \times TC\% \times TSE\%$ |

Tableau 6 : Les formules des paramètres KPIs de Production

3.1.2. Paramètres KPIs pour la Maintenance :

Les KPIs de Maintenance évaluent la performance et l'efficacité des activités de maintenance des équipements et infrastructures. Ils se concentrent sur la fiabilité des machines, la rapidité et l'efficacité des interventions, ainsi que la gestion des coûts de maintenance. Des exemples typiques sont le Temps Moyen Entre Pannes (MTBF), le Temps Moyen de Réparation (MTTR), le taux de maintenance préventive versus corrective ou le coût de maintenance par unité produite. L'analyse de ces indicateurs est cruciale pour assurer la disponibilité des actifs de production, prolonger leur durée de vie opérationnelle et maîtriser les coûts associés, contribuant ainsi directement et significativement à la performance globale de l'entreprise.

| KPIs | Abréviation de | Formule |
|-------------------|---|--|
| MTBF (Min) | Mean Time Before Failure (Reliability) | $\frac{\sum \text{Temps de bon fonctionnement}}{N^{\circ} \text{ de periode de Bon Fonctionnement}}$ |
| MTTR (min) | Mean Time to Repair (maintainability) | $\frac{\sum \text{Temps d'intervention pou n panne}}{N^{\circ} \text{ des pannes}}$ |
| λ | Taux de défaillance | $\frac{1}{MTBF}$ |

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| <i>Défaillance/ min</i> | | |
| μ (Sans unité) | Taux de réparation | $\frac{1}{MTTR}$ |
| TR% | Taux de réactivité | $\frac{\text{temps Arret} - \text{temps d'intervention}}{\text{Temps d'arret}}$ |
| TMP% | Temps de Maintenance préventive | $1 - \frac{\text{temps des interventions MP (planifiée)}}{\text{Temps des interventions Corr + MP (planifiée)}}$ |

Tableau 7 : Les formules des paramètres KPIs de Maintenance

4. Diagramme de Pareto 2080 :

4.1. Définition de diagramme de Pareto :

Le Diagramme de Pareto est un outil graphique de la qualité et de l'amélioration continue, se présentant sous la forme d'un histogramme de fréquences combiné à une courbe de pourcentages cumulés.

Son objectif est de visualiser et de hiérarchiser les causes d'un problème ou les types de non-conformités par ordre d'importance décroissante. En affichant les causes les plus significatives à gauche et les moins influentes à droite, il permet de rapidement identifier les "quelques causes vitales" responsables de la majeure partie des effets indésirables, facilitant ainsi la concentration des efforts d'amélioration là où ils auront le plus grand impact.

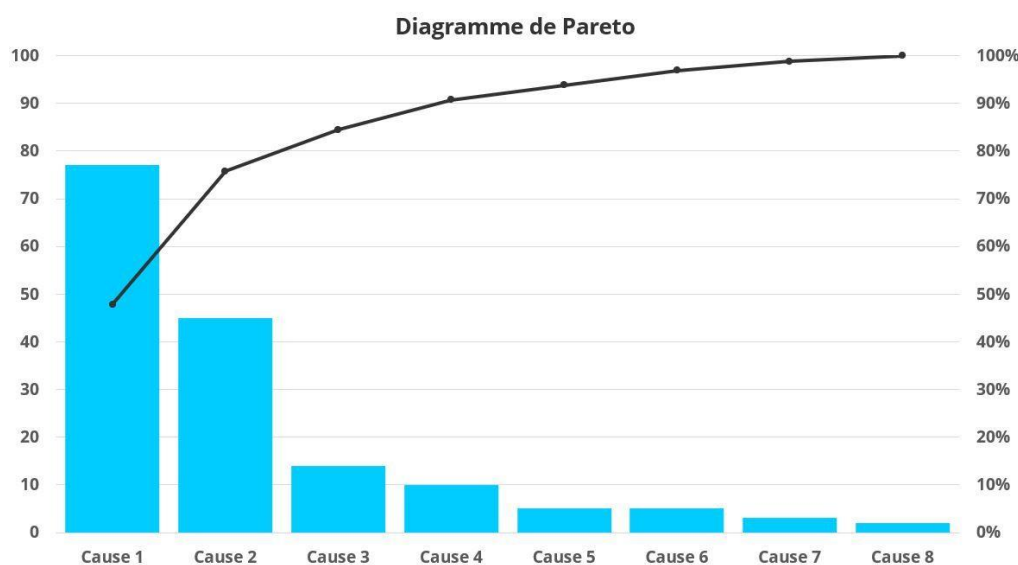


Figure 11 : Exemple de diagramme de Pareto

4.2. Avantage de la loi de Pareto (Principe 80/20) :

L'idée du 80/20, ou Principe de Pareto, stipule que 80% des effets sont générés par 20% des causes. Appliqué à la ligne d'ensachage du MCP, cela signifie que, sur l'ensemble des problèmes ou des pertes subies (pannes, micro-arrêts, défauts de qualité, ralentissements, etc.), une minorité de causes spécifiques sera responsable de la grande majorité du temps d'arrêt, des rebuts ou des baisses de rendement.

L'avantage technique de cette approche est de permettre une priorisation stratégique des actions correctives. Au lieu de disperser les ressources sur l'ensemble des problèmes, souvent nombreux mais individuellement peu impactant, les responsables de la maintenance peuvent concentrer ses efforts d'ingénierie et de maintenance préventive sur les "quelques causes vitales" identifiées. Cette focalisation sur les racines des problèmes les plus significatifs garantit une optimisation maximale de l'efficacité opérationnelle de la ligne d'ensachage du MCP, une réduction tangible des pertes de temps et de matière, et une amélioration substantielle du TRS (Taux de Rendement Synthétique) de la ligne.

III. Architecture de la Procédure de Collecte et de Saisie des Données

Cette partie du rapport détaille la conception et la mise en œuvre du système de collecte des données opérationnelles, pivot central pour la traçabilité et l'analyse de performance. Elle couvre l'identification des données essentielles, la conception des interfaces de saisie ergonomiques sur Excel, et l'automatisation du processus de soumission via des macros VBA.

1. Identification et Caractérisation des Données à Collecter

La mise en place d'un système de traçabilité fiable repose fondamentalement sur la collecte rigoureuse et structurée des données opérationnelles directement à la source. Pour la ligne d'ensachage, cette collecte est assurée par les opérateurs et les techniciens, qui sont les acteurs principaux et les plus informés des événements survenant en temps réel. Leur rôle est crucial pour garantir l'exactitude et la complétude des informations.

Trois types majeurs de données ont été identifiés comme étant essentiels pour une analyse de performance exhaustive et la constitution d'un tableau de bord pertinent :

1.1. Données relatives aux Arrêts Planifiés

Enregistrées principalement par les opérateurs ou le personnel de planification, ces données concernent toutes les interruptions intentionnelles de la production. Ces informations sont cruciales pour distinguer les pertes de temps contrôlées et comprendre l'impact des activités non productives mais nécessaires. Les données collectées comprennent :

- **Cycle** : Date de l'arrêt planifié.
- **N_Arret_Planifier** : Numéro séquentiel ou identifiant de l'arrêt planifié.
- **Debut_Arret_Planifier** : Heure de début de l'arrêt.
- **Fin_Arret_Planifier** : Heure de fin de l'arrêt.
- **Duree_Arret_Planifier** : Durée totale de l'arrêt (calculée ou saisie).
- **Categorie_Arret_Planifier** : Grande catégorie de l'arrêt (ex: Maintenance, Opérations, Administratif/Organisationnel).
- **Type_Arret_Planifier** : Type spécifique de l'arrêt dans sa catégorie (ex: Maintenance préventive, Changement de série, Pause déjeuner, Réunion, Sous-charge, Formation).
- **Commentaire** : Informations additionnelles ou détails pertinents sur l'arrêt.

1.2. Données relatives aux Arrêts Non Planifiés

Collectées par les techniciens de maintenance ou les opérateurs en cas de défaillance, ces données décrivent les interruptions imprévues (pannes, micro-arrêts, attentes matière ou personnel, etc.). Elles sont cruciales pour l'analyse des défaillances, l'identification des causes racines et l'amélioration de la fiabilité des équipements. Elles englobent :

- **Cycle** : Date de la défaillance.
- **N_Arret** : Numéro séquentiel ou identifiant de l'arrêt non planifié.
- **Temps_Arret** : Heure à laquelle l'arrêt a été constaté.
- **Ensemble_Defaillance** : Grand ensemble de la ligne concerné par la défaillance (ex: Ensacheuse, Palettiseur, Convoyeur).
- **Sous_Ensemble_Defaillance** : Sous-composant de l'ensemble défaillant (ex: Dosage, Scellage, Bras robotique).
- **Composant_Defaillance** : Composant spécifique en cause (ex: Moteur, Capteur, Vérin, Carte électronique).
- **Type_Defaillance** : Nature de la défaillance (ex: Mécanique, Électrique, Pneumatique, Logiciel, Attente matière).
- **Commentaire** : Description détaillée de la panne, des symptômes ou des actions correctives.
- **Debut_Intervention** : Heure de début de l'intervention de maintenance.
- **Fin_Intervention** : Heure de fin de l'intervention.
- **Temps_Mise_en_Marche** : Heure de remise en marche de la machine après intervention.
- **Duree_Intervention** : Durée de l'intervention de maintenance (calculée ou saisie).
- **Duree_Arret** : Durée totale de l'arrêt non planifié (calculée ou saisie).

1.3. Données relatives à la Production de Sacs

Saisies par les opérateurs à des intervalles définis (par exemple, fin de poste ou de cycle), ces données quantifient la production et permettent d'évaluer la performance et la qualité de la ligne. Les champs collectés sont :

- **cycle** : Date de la production enregistrée.
- **N_Sacs_Total_Produit** : Nombre total de sacs produits pendant le cycle ou la période.
- **N_Sacs_Non_Conforme** : Nombre de sacs produits ne répondant pas aux standards de qualité.
- **N_Palettes_Total_Produit** : Nombre total de palettes constituées.
- **N_Palettes_Non_Conforme** : Nombre de palettes non conformes ou défectueuses.

1.4. Flux de Travail de la Collecte et Scénario Stimulé

Le processus de collecte des données est conçu pour être intégré au quotidien des équipes, minimisant ainsi les tâches administratives tout en maximisant la disponibilité des données en temps quasi réel. Le déroulement typique est le suivant :

- Survenue d'un Événement** : Qu'il s'agisse d'un arrêt (planifié ou non) ou de la fin d'une période de production, l'opérateur ou le technicien identifie l'occurrence d'un événement à documenter.
- Accès à l'Interface de Saisie** : Le personnel concerné accède à une interface dédiée sur un poste de travail ou une tablette, spécifiquement conçue dans Excel.
- Saisie des Informations** : L'opérateur ou le technicien renseigne les champs pertinents du formulaire correspondant à l'événement. Par exemple, si une panne survient, le technicien ouvrira le formulaire des "Arrêts Non Planifiés", saisira l'heure de début, le type de défaillance (mécanique, électrique), le composant affecté (ensacheuse, palettiseur), un bref commentaire, et l'heure de résolution. Similairement, si l'opérateur termine son quart, il saisira la production réalisée et les sacs non conformes dans le formulaire "Production de Sacs".
- Validation et Soumission** : Après avoir vérifié les informations saisies, l'utilisateur clique sur un bouton de soumission. Cette action déclenche automatiquement une macro VBA qui prend en charge le transfert sécurisé des données vers la base de données centrale.

Ce flux de travail minimise les tâches administratives et maximise la disponibilité des données en temps quasi réel, assurant ainsi une traçabilité complète et la base nécessaire pour des analyses ultérieures. Les sous-sections suivantes détailleront les paramètres spécifiques collectés pour chaque type de données.

2. Conception de l'Interface de Saisie des Données via Excel

Cette partie abordera l'élaboration des formulaires de saisie, en mettant en avant leur conception pensée pour l'opérateur. L'objectif est de garantir une collecte de données précise et simple, directement sur la plateforme Excel.

2.1. Formulaire de Saisie des Arrêts Planifiés

Cette partie abordera l'élaboration des formulaires de saisie, en mettant en avant leur conception pensée pour l'opérateur. L'objectif est de garantir une collecte de données précise et simple, directement sur la plateforme Excel.

Le formulaire dédié aux arrêts planifiés est conçu comme une interface claire et structurée au sein d'Excel, arborant les couleurs et le logo d'OCP pour une reconnaissance immédiate. Il présente des champs de saisie dédiés pour la **Date**, les heures de **Debut Arret Planifier** et **Fin Arret Planifier**, ainsi que des zones pour renseigner la **Categorie Arret Planifier** et le **Type Arret Planifier**. Un champ **Commentaire** plus large est disponible pour des précisions textuelles. Les boutons "Submit Date", "Submit Time - Start" et "Submit Time - End" suggèrent une automatisation pour l'enregistrement des horodatages. Le numéro de l'arrêt planifié (**N° Arret Planifier**) est affiché et géré par incrémentation automatiquement.

Sur le côté droit, une section "Resume" permet de visualiser rapidement les dernières informations saisies, offrant un contrôle visuel immédiat à l'utilisateur. Le bouton "Submit" jaune en bas déclenche la validation et le transfert des données vers la base de données.

| Resume | |
|---------------------------|----------|
| N° Arret Planifier | 1 |
| Date | 01/00/00 |
| Debut Arret Planifier | 00:00:00 |
| Fin Arret Planifier | 00:00:00 |
| Categorie Arret Planifier | 0 |
| Type Arret Planifier | 0 |
| Commentaire | 0 |

Figure 12 : Interface de formulaire des Arrêts Planifiés

Lorsqu'un arrêt planifié survient ou est terminé, l'opérateur accède à ce formulaire. Il renseigne les informations relatives à la date et aux heures de début et de fin de l'arrêt (potentiellement en utilisant les boutons "Submit Time"). Il sélectionne ensuite la catégorie et le type d'arrêt planifié, ajoute tout commentaire pertinent. Une fois la saisie terminée et vérifiée visuellement dans la section "Resume", l'opérateur clique sur le bouton "Submit" pour enregistrer les données, assurant ainsi une traçabilité immédiate de l'événement.

| | |
|-----------|---------------------------|
| (General) | EnterCurrentDate_FAP_Date |
|-----------|---------------------------|

```

' Core macro to enter current time into F12, Formulaire_Arrêts_Planifier, Debut Arret Planifier
Sub EnterCurrentTime_FAP_DAP()
    On Error GoTo ErrorHandler

    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrêts_Planifier") ' Target sheet for entry
    ws.Range("F12").NumberFormat = "hh:mm:ss" ' Set time format
    ws.Range("F12").Value = Time ' Enter current time

    Exit Sub
ErrorHandler:
    MsgBox "Error in EnterCurrentTime_FAP_DAP: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

' Core macro to enter current time into F12, Formulaire_Arrêts_Planifier, Fin Arret Planifier
Sub EnterCurrentTime_FAP_fAP()
    On Error GoTo ErrorHandler

    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrêts_Planifier") ' Target sheet for entry
    ws.Range("F14").NumberFormat = "hh:mm:ss" ' Set time format
    ws.Range("F14").Value = Time ' Enter current time

    Exit Sub
ErrorHandler:
    MsgBox "Error in EnterCurrentTime_FAP_fAP: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

' Core macro to enter current date into F10, Formulaire Arrêts Planifier, Date
Sub EnterCurrentDate_FAP_Date()
    On Error GoTo ErrorHandler

    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrêts_Planifier") ' Target sheet for entry

    ws.Range("F10").NumberFormat = "mm/dd/yy" ' Set date format
    ws.Range("F10").Value = Date ' Enter current date

    Exit Sub
ErrorHandler:
    MsgBox "Error in EnterCurrentDate_FAP_Date: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

```

Figure 13 : Programme VBA pour les macros « Boutons » de saisie du temps et de la date actuelle sur le formulaire Arrêts Planifiés

2.2. Formulaire de Saisie des Arrêts Non Planifiés :

Cette partie abordera l'élaboration des formulaires de saisie, en mettant en avant leur conception pensée pour l'opérateur. L'objectif est de garantir une collecte de données précise et simple, directement sur la plateforme Excel.

Le formulaire dédié aux arrêts non planifiés (image_99a058.png) est agencé de manière ergonomique pour faciliter la saisie rapide et précise des défaillances par les techniciens ou opérateurs. L'interface, aux couleurs thématiques d'OCP, est divisée en deux sections principales : "Chronométrage d'Arrêt" et "Défaillance". La section "Chronométrage d'Arrêt" permet d'enregistrer la **Date**, le **Temps Arret** (heure de la panne), le **Debut de l'Intervention**, la **Fin de l'Intervention** et le **Temps de Mise en Marche**, chacun étant accompagné de boutons "Submit" pour une capture aisée de l'horodatage. La section "Défaillance" recueille les détails techniques tels que l'**Ensemble**, le **Sous-Ensemble**, le **Composant** affecté, et le **Type de Défaillance**, complétés par un champ **Commentaire** pour des explications détaillées. Le **N° Arrêt Non Planifier** est affiché, suggérant un incrément automatique. Un bouton "Submitt" (Submit) en bas déclenche la soumission des données.



Formulaire des Arrêts Non Planifiés

Pole : MC
 Atelier : MCP
 Hall de stockage
 Ligne d'Ensachage

Préparé Par : Kherbech Rachid

Chronométrage d'Arrêt

Submit Date

Submit TA

Submit DI

Submit FI

Submit TMEM

Date :

Temps Arrêt :

Début de l'intervention :

Fin de l'intervention :

Temps de Mise en Marche :

Défaillance

Ensemble :

Sous-Ensemble :

Composant :

Type de Défaillance :

Commentaire :

N° Arrêt Non Planifier

Submitt

Figure 14 : Interface de formulaire des Arrêts Non Planifiés

En cas de défaillance imprévue de la ligne, le technicien ou l'opérateur accède à ce formulaire. Il commence par renseigner la date et les différentes étapes temporelles de l'arrêt (constat, début/fin d'intervention, remise en marche) en utilisant les boutons d'horodatage. Il procède ensuite à la qualification de la défaillance en sélectionnant ou en entrant l'ensemble, le sous-ensemble, le composant et le type de défaillance, puis ajoute un commentaire détaillé sur la nature du problème ou l'intervention effectuée. Après avoir vérifié l'exhaustivité et l'exactitude des informations, il valide la saisie via le bouton "Submitt" pour enregistrer l'incident dans la base de données.

```

' Core macro to enter current time into G12, Formulaire_Arrêts_Non_Planifier, Temps Arrêt
Sub EnterCurrentTime_FANP_TA()
On Error GoTo ErrorHandler
Dim ws As Worksheet
Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrêts_Non_Planifier") ' Target sheet for entry
ws.Range("G12").NumberFormat = "hh:mm:ss" ' Set time format
ws.Range("G12").Value = Time ' Enter current time
Exit Sub
ErrorHandler:
MsgBox "Error in EnterCurrentTime_FANP_TA: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

' Core macro to enter current time into G14, Formulaire_Arrêts_Non_Planifier, Debut de l'intervention
Sub EnterCurrentTime_FANP_DI()
On Error GoTo ErrorHandler
Dim ws As Worksheet
Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrêts_Non_Planifier") ' Target sheet for entry
ws.Range("G14").NumberFormat = "hh:mm:ss" ' Set time format
ws.Range("G14").Value = Time ' Enter current time
Exit Sub
ErrorHandler:
MsgBox "Error in EnterCurrentTime_FANP_DI: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

' Core macro to enter current time into G16, Formulaire_Arrêts_Non_Planifier, Fin de l'intervention
Sub EnterCurrentTime_FANP_FI()
On Error GoTo ErrorHandler
Dim ws As Worksheet
Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrêts_Non_Planifier") ' Target sheet for entry
ws.Range("G16").NumberFormat = "hh:mm:ss" ' Set time format
ws.Range("G16").Value = Time ' Enter current time
Exit Sub
ErrorHandler:
MsgBox "Error in EnterCurrentTime_FANP_FI: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

```

```

' Core macro to enter current time into G18, Formulaire_Arrets_Non_Planifier, Temps de Mise En Marche
Sub EnterCurrentTime_FANP_MEM()
    On Error GoTo ErrorHandler
    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrets_Non_Planifier") ' Target sheet for entry
    ws.Range("G18").NumberFormat = "hh:mm:ss" ' Set time format
    ws.Range("G18").Value = Time ' Enter current time
    Exit Sub
ErrorHandler:
    MsgBox "Error in EnterCurrentTime_FANP_MEM: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

' Core macro to enter current date into G10, Formulaire Arrets Non Planifier, Date
Sub EnterCurrentDate_FANP_Date()
    On Error GoTo ErrorHandler
    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Formulaire_Arrets_Non_Planifier") ' Target sheet for entry
    ws.Range("G10").NumberFormat = "mm/dd/yy" ' Set date format
    ws.Range("G10").Value = Date ' Enter current date
    Exit Sub
ErrorHandler:
    MsgBox "Error in EnterCurrentDate_FANP_Date: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

```

Figure 15 : Programme VBA pour les macros « Boutons » de saisie du temps et de la date actuelle sur le formulaire Arrêts Non Planifiés

2.3. Formulaire de Saisie de la Production de Sacs

Le formulaire de saisie de la production des sacs offre une interface épurée et fonctionnelle, adoptant une charte graphique cohérente avec l'identité visuelle d'OCP. Il est spécifiquement conçu pour que les opérateurs puissent enregistrer rapidement les données de production et de qualité. Les champs principaux incluent la **Date** (avec un bouton "Submit Date" pour un horodatage facilité), le **N° Sacs Total Produits**, le **N° Sacs Non Conforme**, le **N° Palettes Total Produits** et le **N° Palettes Non Conforme**. À droite, une zone "Resume" permet de récapituler les dernières entrées, offrant un moyen de vérification instantané avant la soumission. Un bouton "Submit" clair et visible en bas de l'interface déclenche l'enregistrement des données.

Figure 16 : Interface de formulaire des Sacs Produits

Généralement à la fin d'un poste ou d'un cycle de production, l'opérateur accède à ce formulaire. Il commence par s'assurer que la date est correcte, puis il saisit les quantités de sacs et de palettes produites, en distinguant celles qui sont conformes de celles qui ne le sont pas. Une fois toutes les données quantitatives renseignées, il procède à une vérification rapide via le "Resume" et clique sur le bouton "Submit" pour transférer ces informations de production et de qualité vers la base de données centrale.

3. Automatisation de la Soumission des Données via les Macros VBA

Cette section est dédiée à l'explication du rôle central des macros VBA dans la transformation des données saisies manuellement en informations structurées et stockées, garantissant ainsi la fiabilité et l'efficacité du système.

3.1. Choix et Justification de l'Utilisation de VBA dans Excel

Le choix de Visual Basic for Applications (VBA) pour l'automatisation de la soumission des données s'est imposé comme une solution pertinente et efficace. Principalement intégré à l'environnement Microsoft Excel, VBA offre une capacité native à interagir directement avec les feuilles de calcul, les cellules et les objets Excel, ce qui simplifie grandement la collecte des informations saisies par les opérateurs.

Les avantages clés qui justifient cette sélection incluent l'intégration transparente, c'est que VBA est un langage de programmation inhérent à Excel, ce qui permet de développer des fonctionnalités sur mesure sans nécessiter de logiciels supplémentaires.

Et en termes de précision VBA offre un contrôle granulaire sur la lecture et l'écriture des données dans les cellules, assurant une extraction exacte des informations des formulaires de saisie. Aussi grâce à des bibliothèques telles qu'ADO (ActiveX Data Objects), VBA permet d'établir des connexions robustes avec des bases de données externes, comme SQL Server, pour le transfert et le stockage des données. Les extraits de code montrent cette connectivité via `conn.Execute sqlInsert`.

Le développement de macros permet d'automatiser le processus de soumission des données en un seul clic, réduisant ainsi les erreurs manuelles et optimisant le temps de travail des opérateurs. VBA aussi offre la flexibilité nécessaire pour adapter la logique de soumission des données aux exigences spécifiques du projet, notamment la gestion des différents types de données (dates, heures, textes) et la construction dynamique des requêtes SQL.

Ce choix technologique permet de capitaliser sur l'environnement Excel familier aux utilisateurs tout en fournissant une solution puissante et automatisée pour la gestion des données.

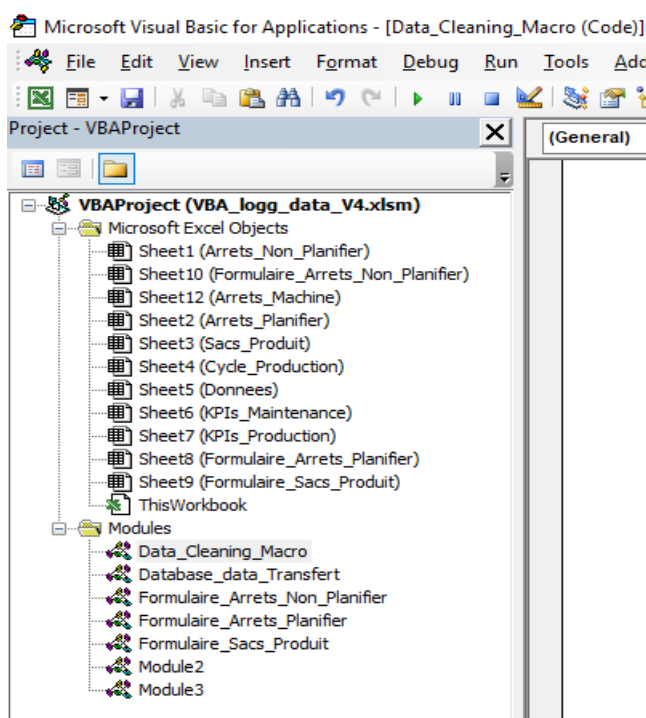


Figure 17 : Interface de VBA Project explorer

3.2. Logique et Implémentation des fonction Macros de Journalisation des Données :

La phase d'implémentation des macros VBA constitue le cœur du système d'enregistrement des données, assurant le transfert automatisé des informations saisies depuis les formulaires vers des feuilles de journalisation structurées au sein du même classeur Excel. Ce processus est conçu pour consolider localement les données avant toute exportation ultérieure.

Lorsqu'un opérateur clique sur le bouton "Submit" du chaque formulaire une macro d'une fonction VBA dédiée est activée. Cette macro est chargée de lire toutes les données renseignées dans les champs, et extrait les détails temporels, une fois les données collectées, la macro identifie la prochaine ligne disponible dans une feuille de journalisation désignée. Elle procède ensuite à l'écriture de ces informations dans les colonnes correspondantes de cette nouvelle ligne. Après un enregistrement réussi, les champs du formulaire sont généralement effacés, préparant l'interface pour une nouvelle saisie.

| C | D | E | F | G | H | I | J |
|----------------------------|----------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Arret Planifier | | | | | | | |
| Data transfert To Database | | | | | | | |
| N_Arret_Planifier | Cycle | Debut_Arret_Planifier | Fin_Arret_Planifier | Categorie_Arret_Planifier | Type_Arret_Planifier | Commentaire | Duree_Arret_Planifier |
| 7 | 06/18/25 | 21:23:56 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin de shift | 00:36:04 |
| 6 | 06/18/25 | 17:12:45 | 18:33:58 | Administrative | Reunion | | 01:21:13 |
| 5 | 06/18/25 | 14:39:12 | 16:01:39 | Operations | Nettoyage approfondi | Désinfection zone critique | 01:22:27 |
| 4 | 06/18/25 | 12:00:00 | 12:41:12 | Operations | Arrêts de production | Pause méridienne | 00:41:12 |
| 3 | 06/18/25 | 11:30:00 | 11:52:07 | Operations | Arrêts de production | Changement de produit | 00:22:07 |
| 2 | 06/18/25 | 07:12:23 | 09:23:51 | Maintenance | Maintenance préventive | Lubrification mécanique | 02:11:28 |
| 1 | 06/18/25 | 06:00:00 | 07:12:23 | Operations | Arrêts de production | Changement équipe nuit/jour | 01:12:23 |
| 6 | 06/17/25 | 21:23:56 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin de shift | 00:36:04 |
| 5 | 06/17/25 | 17:23:56 | 18:44:08 | Operations | Nettoyage approfondi | | 01:20:12 |
| 4 | 06/17/25 | 14:02:45 | 14:30:23 | Operations | Arrêts de production | 0 | 00:27:38 |
| 3 | 06/17/25 | 12:00:56 | 12:31:56 | Operations | Arrêts de production | 0 | 00:31:00 |
| 2 | 06/17/25 | 07:01:23 | 09:00:09 | Maintenance | Maintenance préventive | 0 | 01:58:46 |
| 1 | 06/17/25 | 06:00:00 | 07:01:23 | Operations | Arrêts de production | debut de shift | 01:01:23 |
| 6 | 06/17/25 | 21:23:56 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin de shift | 00:36:04 |
| 5 | 06/17/25 | 17:05:33 | 18:28:47 | Administrative | Reunion | | 01:23:14 |
| 4 | 06/17/25 | 14:28:49 | 15:52:06 | Operations | Nettoyage approfondi | Nettoyage convoyeur principal | 01:23:17 |
| 3 | 06/17/25 | 12:00:00 | 12:34:17 | Operations | Arrêts de production | Pause déjeuner équipe A | 00:34:17 |
| 2 | 06/17/25 | 07:07:38 | 09:15:42 | Maintenance | Maintenance préventive | Vérification hebdomadaire | 02:08:04 |
| 1 | 06/17/25 | 06:00:00 | 07:07:38 | Operations | Arrêts de production | Début shift - contrôle initial | 01:07:38 |
| 5 | 06/19/25 | 21:23:56 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin de shift | 00:36:04 |
| 4 | 06/19/25 | 17:03:39 | 18:27:47 | Operations | Arrêts de production | pause | 01:24:08 |

Figure 18 : Feuille Excel correspondant aux arrêts planifiés pour la soumission des données par le formulaire

| B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|----------------------------|---------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------|---|--------------------|------------------|----------------------|--------------------|----------|
| Arrets Non Plannifies | | | | | | | | | | | | |
| Data Transfert to Database | | | | | | | | | | | | |
| date | Arret | Mode de defaillance | | | | Intervention | | Mise en Marche | | Calcul des Durees | | |
| Cycle | N_Arret | Temps_Arret | Ensemble_Defailance | Soos_Esemble_Defailance | Composant_Defailance | Defailance | Commentaire | Debut_Intervention | Fin_Intervention | Temps_Mise_en_Marche | Duree_Intervention | Duree_Ar |
| 06/17/25 | 6 | 20:45:33 | Ensemble | Système support et transport du film | Rowluxe guide | Déraillement | Rowluxe déraligné dans système transport film | 20:55:42 | 21:18:17 | 21:23:56 | 00:22:35 | 0 |
| 06/17/25 | 5 | 19:55:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance de soudage défectueuse | 19:55:18 | 20:02:41 | 20:12:33 | 00:21:29 | 0 |
| 06/17/25 | 4 | 16:10:45 | Ensemble | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée sur moteur film | 16:30:12 | 16:55:38 | 17:05:22 | 00:25:26 | 0 |
| 06/17/25 | 3 | 13:25:18 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé sur vane principale | 13:45:30 | 14:18:22 | 14:30:23 | 00:32:52 | 0 |
| 06/17/25 | 2 | 10:55:47 | Ensemble | Groupe perforé sac | Plaque perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés dans mécanisme perforation | 11:15:33 | 11:42:18 | 11:52:05 | 00:26:45 | 0 |
| 06/17/25 | 1 | 09:20:14 | Ensemble | Trémie de réception | Captur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 09:40:22 | 10:05:47 | 10:15:33 | 00:25:25 | 0 |
| 19/06/2025 | 9 | 20:35:33 | Ensemble | Système support et transport du film | Rowluxe guide | Déraillement | Rowluxe déraligné système transport film | 20:55:42 | 21:18:17 | 21:23:56 | 00:22:35 | 0 |
| 19/06/2025 | 8 | 19:05:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:25:18 | 19:52:47 | 20:02:33 | 00:21:29 | 0 |
| 19/06/2025 | 7 | 16:20:45 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vane principale | 16:40:12 | 17:05:38 | 17:15:22 | 00:25:26 | 0 |
| 19/06/2025 | 6 | 13:45:18 | Ensemble | Groupe perforé sac | Plaque perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés mécanisme perforation | 14:05:30 | 14:32:15 | 14:42:05 | 00:26:45 | 0 |
| 19/06/2025 | 5 | 12:25:47 | Ensemble | Trémie de réception | Captur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 12:45:33 | 13:12:18 | 13:22:05 | 00:26:45 | 0 |
| 19/06/2025 | 4 | 10:55:14 | Ensemble | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée moteur film | 11:15:22 | 11:40:47 | 11:50:33 | 00:25:25 | 0 |
| 19/06/2025 | 3 | 15:30:07 | Ensemble | Bouche Assoc a double clapet | Actionneur pneumatique | Panne pneumatique | Fuite d'air cylindre | 15:50:18 | 16:11:33 | 16:21:06 | 00:21:15 | 0 |
| 19/06/2025 | 2 | 09:45:22 | Ensemble | Soudage fond du sac | Captur de température | Dérive mesure | Lecture incohérente température | 10:05:30 | 10:32:15 | 10:42:12 | 00:26:45 | 0 |
| 19/06/2025 | 1 | 10:45:33 | Ensemble | Système d'alimentation convoyeur | Captur de présence | Panne capteur | Détection erronée palettes | 10:55:40 | 11:28:22 | 11:38:18 | 00:22:42 | 0 |
| 20/06/2025 | 11 | 20:45:33 | Ensemble | Système support et transport du film | Rowluxe guide | Déraillement | Rowluxe déraligné système transport film | 21:05:42 | 21:28:17 | 21:33:56 | 00:22:35 | 0 |
| 20/06/2025 | 10 | 19:15:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:35:18 | 20:02:47 | 20:12:33 | 00:21:29 | 0 |
| 20/06/2025 | 9 | 16:30:45 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vane principale | 16:50:12 | 17:15:38 | 17:25:22 | 00:25:26 | 0 |
| 20/06/2025 | 8 | 13:55:18 | Ensemble | Groupe perforé sac | Plaque perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés mécanisme perforation | 14:15:30 | 14:42:15 | 14:52:05 | 00:26:45 | 0 |
| 20/06/2025 | 7 | 11:25:47 | Ensemble | Trémie de réception | Captur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 11:45:33 | 12:12:18 | 12:22:05 | 00:26:45 | 0 |
| 20/06/2025 | 6 | 09:45:14 | Ensemble | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée moteur film | 10:05:22 | 10:30:47 | 10:40:33 | 00:25:25 | 0 |
| 20/06/2025 | 5 | 15:40:07 | Ensemble | Bouche Assoc a double clapet | Actionneur pneumatique | Panne pneumatique | Fuite d'air cylindre | 16:00:18 | 16:27:33 | 16:37:06 | 00:21:15 | 0 |
| 20/06/2025 | 4 | 10:15:22 | Ensemble | Soudage fond du sac | Captur de température | Dérive mesure | Lecture incohérente température | 10:35:30 | 11:02:15 | 11:12:12 | 00:26:45 | 0 |
| 20/06/2025 | 3 | 15:55:33 | Ensemble | Système d'alimentation convoyeur | Captur de présence | Panne capteur | Détection erronée palettes | 16:15:40 | 16:38:22 | 16:48:18 | 00:22:42 | 0 |
| 20/06/2025 | 2 | 10:10:45 | Ensemble | Typier rowluxe métallique B.600 | Moteur entraînement | Panne microscopique | Vibration excessive convoyeur | 10:30:12 | 10:55:38 | 11:05:22 | 00:25:26 | 0 |
| 20/06/2025 | 1 | 16:45:18 | Ensemble | Corps robot | Captur de position | Panne capteur | Détection position erronée | 17:05:30 | 17:32:15 | 17:42:05 | 00:26:45 | 0 |
| 21/06/2025 | 10 | 20:35:33 | Ensemble | Système support et transport du film | Rowluxe guide | Déraillement | Rowluxe déraligné système transport film | 20:55:42 | 21:18:17 | 21:23:56 | 00:22:35 | 0 |
| 21/06/2025 | 9 | 19:05:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:25:18 | 19:52:47 | 20:02:33 | 00:21:29 | 0 |
| 21/06/2025 | 8 | 16:20:45 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vane principale | 16:40:12 | 17:05:38 | 17:15:22 | 00:25:26 | 0 |

Figure 19 : Feuille Excel correspondant aux arrêts Non planifiés pour la soumission des données par le formulaire

| Cycle | Sacs | | Palettes | |
|----------|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| Cycle | N_Sacs_Total_Produit | N_Sacs_Non_Conforme | N_Palettes_Total_Produit | N_Palettes_Non_Conforme |
| 06/16/25 | 7600 | 7 | 190 | 5 |
| 06/17/25 | 8400 | 12 | 210 | 1 |
| 06/18/25 | 10065 | 25 | 251 | 3 |
| 06/19/25 | 9867 | 9 | 246 | 12 |
| 06/20/25 | 10438 | 16 | 260 | 13 |
| 06/21/25 | 9882 | 11 | 247 | 7 |

Figure 20 : Feuille Excel correspondant aux Sacs Produits pour la soumission des données par le formulaire

Ce processus assure que chaque événement ou information est conservé localement de manière structurée et horodatée pour une analyse ultérieure. Cette méthode permet de construire un historique complet et détaillé des performances de la ligne directement au sein du classeur Excel.

```

Sub DataSubmit_FormulaireArretPlanifier()
    Range("O8:F14").Select
    Selection.Copy
    Sheets("Donnees").Select
    Range("H21").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=True
    Range("H21:N21").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    Sheets("Arrets_Planifier").Select
    Range("C9").Select
    Selection.Insert Shift:=xlDown
    Sheets("Formulaire_Arrets_Planifier").Select
    ' --- Clearing Form Fields ---
    Range("J10").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    Range("J12").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    Range("F10").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    Range("F12").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    Range("F14").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    Range("F17:I19").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
    ' --- Auto-Increment Counter in F23 ---
    Sheets("Formulaire_Arrets_Planifier").Range("F23").Value = Sheets("Formulaire_Arrets_Planifier").Range("F23").Value + 1
    ' Your macro's last recorded step
    Range("F24").Select
End Sub

```

Figure 21 : Exemple de Programme VBA pour L'automatisation de processus de DATA Logging du formulaire des Arrêts Planifiés

IV. Architecture et Implémentation du Transfert et du Stockage des Données dans une Base de Données

Après la phase de collecte et de journalisation locale des données au sein des feuilles Excel, l'étape suivante, fondamentale pour l'analyse de performance et la pérennité du système, consiste à centraliser et à stocker ces informations dans une base de données relationnelle robuste. Cette section détaillera le mécanisme par lequel les données sont extraites d'Excel et intégrées dans la base de données, ainsi que les avantages inhérents à cette approche.

1. Procédure de Transfert et de Stockage des Données

Cette sous-section décrit le processus global par lequel les données, une fois saisies et validées dans les formulaires Excel et potentiellement journalisées localement, sont acheminées vers la base de données centrale. Il s'agit d'une automatisation essentielle pour transformer des données brutes en informations structurées et accessibles pour des analyses avancées.

1.1. Outils et Méthodes Utilisés

Le transfert et le stockage des données reposent sur une combinaison d'outils et de méthodes rigoureuses pour garantir l'efficacité, l'intégrité et la sécurité des informations.

- **VBA (Visual Basic for Applications)** : C'est le langage de script intégré à Microsoft Excel qui orchestre l'ensemble du processus de transfert. Il permet de lire les données des cellules, de construire des requêtes et d'interagir avec la base de données.
- **ADO (ActiveX Data Objects)** : Il s'agit de la technologie d'accès aux données utilisée par VBA. ADO fournit l'interface nécessaire pour établir une connexion avec la base de données et pour exécuter des commandes (comme les requêtes d'insertion). Des extraits de code précédents montraient l'utilisation de `conn.Execute sqlInsert`, illustrant cette interaction.
- **SQL Server Express** : C'est l'édition spécifique du système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) de Microsoft qui a été choisie pour centraliser et stocker les données du projet. Cette version, bien qu'étant gratuite, offre une plateforme robuste et adaptée aux besoins de petites et moyennes applications.
- **Enterprise Desktop comme Serveur** : Pour cette implémentation, l'instance de SQL Server Express a été hébergée et configurée sur un ordinateur de bureau d'entreprise dédié, agissant ainsi comme le serveur local de base de données.
- **SSMS (SQL Server Management Studio)** : Cet environnement intégré a été utilisé comme outil d'administration et de développement principal pour SQL Server Express. Il a permis de concevoir le schéma de la base de données (création des tables, définition des relations), d'exécuter des requêtes SQL pour la gestion et la manipulation des données, et de surveiller l'instance de la base de données.
- **SQL (Structured Query Language)** : Langage standardisé utilisé pour communiquer avec la base de données. Des requêtes d'insertion (`INSERT INTO`) sont

dynamiquement générées par les macros VBA pour ajouter les nouvelles entrées dans les tables appropriées.

La méthode implique l'établissement d'une chaîne de connexion sécurisée (Connection String) entre le classeur Excel et l'instance SQL Server Express hébergée sur le poste client. Les données sont ensuite extraites des feuilles de saisie, formatées pour correspondre aux types de données des colonnes de la base de données SQL (par exemple, conversion des dates et heures Excel en formats compatibles SQL pour éviter les erreurs de type), puis insérées via des commandes SQL exécutées par l'intermédiaire d'ADO.

1.2. Avantages du Stockage des Données en Base de Données

Le choix de stocker les données dans une base de données relationnelle plutôt que de les conserver uniquement dans des fichiers Excel offre des avantages considérables pour la gestion et l'exploitation des informations.

- **Intégrité et Cohérence des Données :** Les bases de données permettent d'appliquer des contraintes (types de données, clés primaires, clés étrangères) qui garantissent la validité, la fiabilité et la cohérence des données.
- **Scalabilité :** Contrairement aux fichiers Excel qui ont des limitations de taille et de performance, une base de données peut gérer des volumes de données beaucoup plus importants sans dégradation significative des performances.
- **Sécurité et Contrôle d'Accès :** Les SGBDR offrent des mécanismes avancés de sécurité, permettant de définir des rôles et des permissions précises pour chaque utilisateur, de chiffrer les données et de tracer les accès, assurant ainsi la confidentialité et la protection des informations.
- **Accès Concurrentiel :** Plusieurs utilisateurs ou applications peuvent accéder, lire et écrire des données simultanément dans la base de données sans risque de corruption, ce qui est difficile à gérer avec des fichiers Excel partagés.
- **Analyse et Génération de Rapports Avancées :** Les données structurées dans une base de données sont idéales pour l'interrogation complexe via SQL et l'intégration avec des outils de Business Intelligence (BI), facilitant la création de tableaux de bord dynamiques et de rapports détaillés.
- **Pérennité et Sauvegarde :** Les bases de données bénéficient de systèmes de sauvegarde et de récupération robustes, garantissant la pérennité des données sur le long terme et leur restauration rapide en cas d'incident.
- **Réduction de la Redondance :** La modélisation relationnelle permet de minimiser la duplication des données, optimisant l'espace de stockage et réduisant les risques d'incohérence.

2. Conception Elaboration d'une Passerelle (Pipeline) entre Excel et SQL Server (SSMS) :

Cette section décrit la mise en place de la "pipeline" unidirectionnelle, ou plutôt de la passerelle unilatérale de transfert, entre le frontal de saisie Excel et le système de gestion de base de données SQL Server Express. Elle couvre la préparation de l'environnement de base de données et l'implémentation du code VBA qui assure la communication.



Figure 22 : Passerelle (Pipeline) des données entre Excel et SQL Server (SSMS)

2.1. Préparation et Création de la Base de Données et des Tables :

Avant tout transfert de données, il est impératif de structurer l'environnement de la base de données pour accueillir les informations provenant d'Excel. Cette étape est réalisée via **SQL Server Management Studio (SSMS)**, l'interface graphique permettant d'administrer les instances SQL Server.

- a. **Connexion à SQL Server Express via SSMS :** La première étape consiste à lancer SSMS et à se connecter à l'instance de SQL Server Express installée. La connexion s'effectue généralement en spécifiant le "Type de serveur" comme "Moteur de base de données", le "Nom du serveur" comme `.\SQLEXPRESS` (si l'instance est locale et par défaut) ou `[NomDeVotreOrdinateur]\SQLEXPRESS`, et en utilisant l'authentification Windows pour une gestion simplifiée des accès.

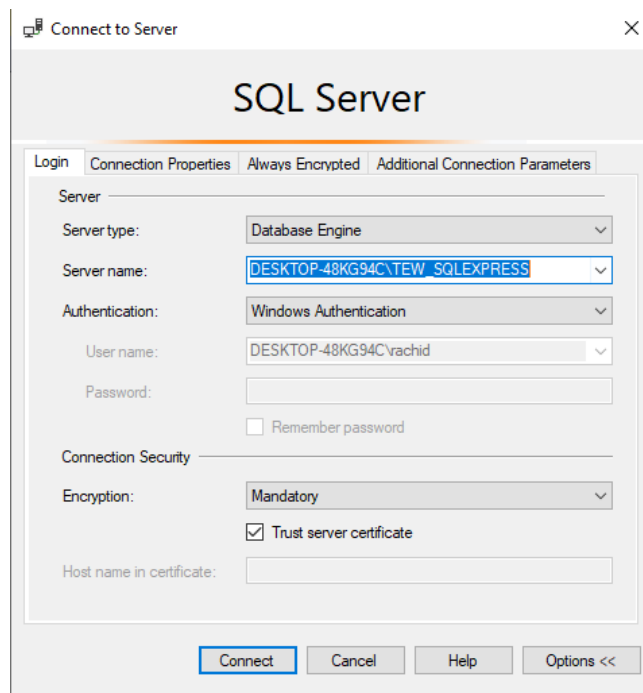


Figure 23 : fenêtre de connexion à SQL Serveur Express

- b. **Création de la Base de Données :** Une fois connecté, la base de données principale est créée. Pour ce faire, dans l'Explorateur d'objets de SSMS, un clic droit sur le dossier "Bases de données" permet de sélectionner "Nouvelle base de données...". Un nom pertinent est attribué, par exemple DB_LigneEnsachage. Cette base de données servira de dépôt central pour toutes les données de performance de la ligne d'ensachage.

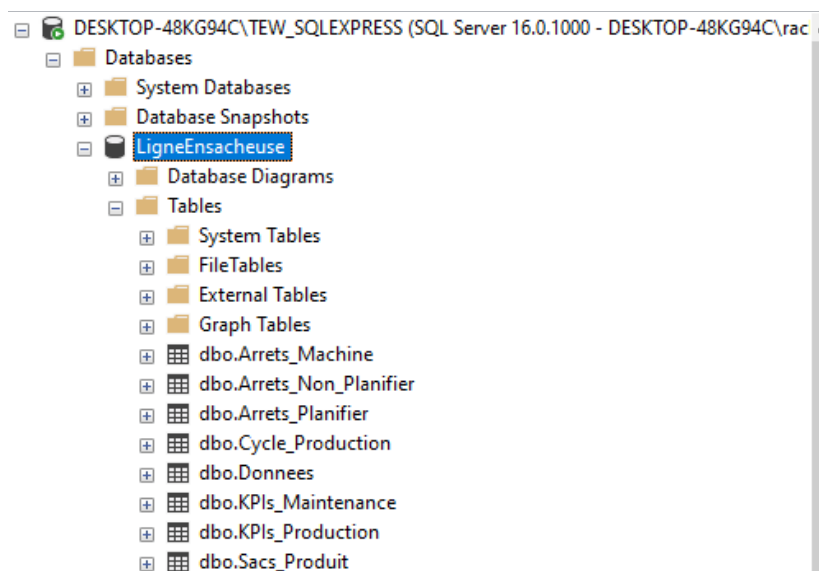
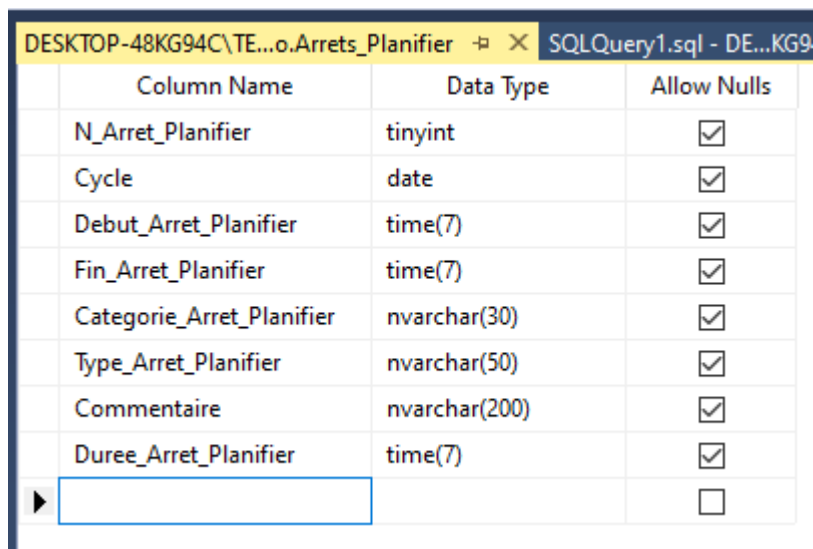


Figure 24 : Base de données Ligne Ensacheuse et les tableaux des données

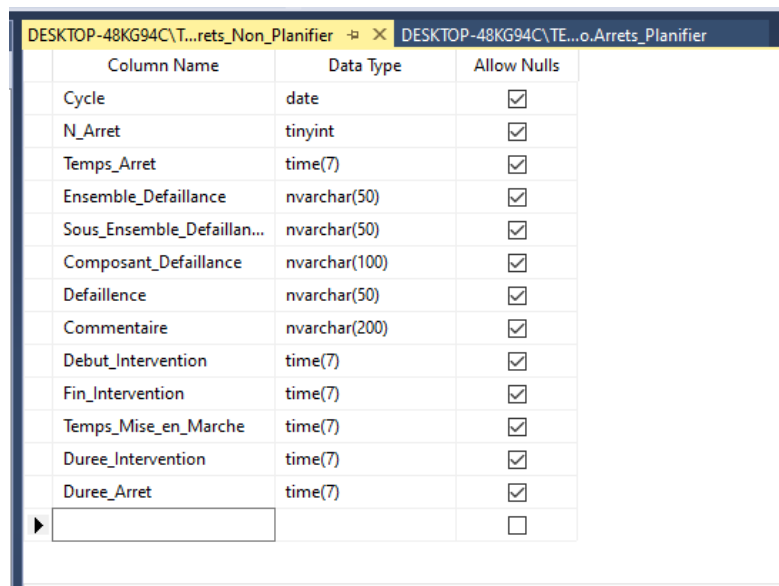
c. Création des Tables de Données et Définition des Types :

La cohérence des types de données est primordiale pour un transfert sans erreur et pour garantir l'intégrité des informations. Pour chaque formulaire de saisie Excel, une table correspondante est créée dans la base de données, avec des colonnes dont les types de données SQL sont adaptés aux informations qu'elles recevront. Chaque table inclut également une clé primaire auto-incrémentée pour une identification unique de chaque enregistrement.



| Column Name | Data Type | Allow Nulls |
|---------------------------|---------------|-------------------------------------|
| N_Arret_Planifier | tinyint | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Cycle | date | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Debut_Arret_Planifier | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fin_Arret_Planifier | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Categorie_Arret_Planifier | nvarchar(30) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Type_Arret_Planifier | nvarchar(50) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Commentaire | nvarchar(200) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Duree_Arret_Planifier | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | <input type="checkbox"/> |

Figure 25 : Structure du Tableau de données des Arrêts planifiés



| Column Name | Data Type | Allow Nulls |
|---------------------------|---------------|-------------------------------------|
| Cycle | date | <input checked="" type="checkbox"/> |
| N_Arret | tinyint | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Temps_Arret | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Ensemble_Defaillance | nvarchar(50) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Sous_Ensemble_Defaillance | nvarchar(50) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Composant_Defaillance | nvarchar(100) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Defaillance | nvarchar(50) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Commentaire | nvarchar(200) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Debut_Intervention | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Fin_Intervention | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Temps_Mise_en_Marche | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Duree_Intervention | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Duree_Arret | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | <input type="checkbox"/> |

Figure 26 : Structure du Tableau de données des Arrêts Non planifiés (pannes)

| DESKTOP-48KG94C\T...dbo.Sacs_Produit | | | |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--|
| Column Name | Data Type | Allow Nulls | |
| Cycle | date | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| N_Sacs_Total_Produit | smallint | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| N_Sacs_Non_Conforme | smallint | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| N_Palettes_Total_Produit | smallint | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| N_Palettes_Non_Confor... | smallint | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| | | <input type="checkbox"/> | |

Figure 27 : Structure du Tableau de données des Sacs produits

2.2. Implémentation du Programme VBA pour le Transfert des Données à SQL Server :

Le programme VBA au sein du classeur Excel est le moteur qui automatise le transfert des données des formulaires vers la base de données SQL Server Express.

2.2.1. Configuration d'Excel pour la Connexion à la Base de Données :

Pour que VBA puisse interagir avec une base de données externe via ADO, il est nécessaire d'activer la référence à la bibliothèque appropriée. Dans l'éditeur VBA, il faut aller dans Outils puis Références et cocher la case "Microsoft ActiveX Data Objects 6.1 Library". Cette étape fournit à VBA les objets et méthodes nécessaires pour établir des connexions et exécuter des requêtes SQL.

2.2.2. Connexion à la Base de Données via VBA (Chaîne de Connexion) :

La connexion à la base de données est établie via un objet ADODB.Connection. Les paramètres de connexion sont encapsulés dans une chaîne de connexion.

Pour l'instance de SQL Server Express hébergée sur un poste d'entreprise, une chaîne de connexion typique utilisant l'authentification Windows serait :

➤ Provider = SQLOLEDB;

- Data Source = NomDeVotreOrdinateur\SQLEXPRESS;
- Initial Catalog = DB_LigneEnsachage;
- Integrated Security = SSPI;

Cette chaîne spécifie le fournisseur (OLE DB pour SQL Server), l'adresse de l'instance SQL, le nom de la base de données cible, et la méthode d'authentification intégrée (SSPI), qui utilise les informations d'identification de l'utilisateur Windows actuel.

```
' --- Configuration ---
Const SQL_SERVER_NAME As String = "DESKTOP-48KG94C\TEW_SQLEXPRESS"
Const DATABASE_NAME As String = "LigneEnsacheuse"

' --- Function to get a database connection ---
Function GetDbConnection() As ADODB.Connection
    Dim conn As New ADODB.Connection
    Dim connectionString As String

    ' Using Integrated Security (Windows Authentication)
    connectionString = "Provider=SQLOLEDB;" & _
        "Server=" & SQL_SERVER_NAME & ";" & _
        "Database=" & DATABASE_NAME & ";" & _
        "Integrated Security=SSPI;"

    On Error GoTo ErrorHandler
    conn.Open connectionString
    Set GetDbConnection = conn
    Exit Function

ErrorHandler:
    MsgBox "Failed to connect to the database." & vbCrLf & _
        "Error " & Err.Number & ": " & Err.Description, vbCritical
    Set GetDbConnection = Nothing
End Function
```

Figure 28 : Programme VBA pour la configuration et la connexion à les feuilles Excel avec la base de données SQL Server

2.2.3. Macro de Transfert de Données (Vue d'ensemble et Processus) :

Une fonction VBA principale (TransferDataToSQL) est responsable d'orchestrer le transfert. Cette fonction est appelée par le bouton "Submit Data to Database" de chaque feuille. Son fonctionnement général est le suivant :

- Détection de la Feuille Active : La macro détermine quelle feuille de saisie (Arrêts Planifiés, Arrêts Non Planifiés, Sacs Produits) a déclenché l'appel.
- Récupération et Nettoyage des Données : Pour la feuille identifiée, la macro lit les valeurs de chaque cellule d'entrée du formulaire. Un nettoyage et un formatage rigoureux sont appliqués pour assurer que les données (dates, heures, nombres, textes) correspondent aux types attendus dans la base de données SQL, afin d'éviter les erreurs de conversion lors de l'insertion. Par exemple, les formats de date/heure Excel sont convertis en formats reconnus par SQL Server.

- Construction de la Requête SQL INSERT INTO : Une requête SQL INSERT INTO est construite dynamiquement. Le nom de la table SQL (ArretsPlanifies, ArretsNonPlanifies, ou ProductionSacs) est déterminé en fonction de la feuille active, et les valeurs des champs sont insérées dans la requête.
- Exécution de la Requête : La requête SQL est exécutée via l'objet ADODB.Connection, insérant ainsi un nouvel enregistrement dans la table SQL correspondante.

```

Sub Data_Transfer_to_SQL_ANF()
    Dim ws As Worksheet
    Dim conn As ADODB.Connection
    Dim r As Long, lastRow As Long
    Dim headerRow As Long: headerRow = 7
    Dim firstDataColumn As Long: firstDataColumn = 2 ' Column B
    Dim lastDataColumn As Long: lastDataColumn = 14 ' Column N
    Dim sheetName As String
    Dim tableName As String
    Dim sSQL As String
    Dim cellValue As Variant
    Dim formattedVal(1 To 13) As String
    Dim i As Integer
    ' Set current worksheet
    Set ws = ActiveSheet
    sheetName = ws.Name

    ' Determine table based on sheet name
    Select Case sheetName
        Case "Arrets_Non_Planifier"
            tableName = sheetName
        Case Else
            MsgBox "Sheet not configured for data transfer."
            Exit Sub
    End Select

    ' Determine the last row by checking the first data column (B)
    lastRow = ws.Cells(ws.Rows.Count, firstDataColumn).End(xlUp).Row

    ' Open database connection using your provided GetDbConnection function
    Set conn = GetDbConnection()
    If conn Is Nothing Then Exit Sub

    Application.ScreenUpdating = False

    ' Loop through each data row (row 8 to lastRow)
    For r = headerRow + 1 To lastRow
        ' Begin constructing the SQL INSERT statement.
        sSQL = "INSERT INTO [" & tableName & "] " & _
            "(" & ([Cycle], [N_Arret], [Temps_Arret], [Ensemble_Defaillance], " & _
            "[Sous_Ensemble_Defaillance], [Composant_Defaillance], [Defaillance], " & _
            "[Commentaire], [Debut_Intervention], [Fin_Intervention], " & _
            "[Temps_Mise_en_Marche], [Duree_Intervention], [Duree_Arret]) VALUES ("

        ' --- Column Mapping and conversion ---
        ' Note: Excel stores dates/times as numeric values (fractions of a day).
        ' Use Format() to convert to a string format recognized by SQL Server.
        ' Mapping:
        ' Column B (2) -> Cycle (date)
        cellValue = ws.Cells(r, 2).Value
        If IsDate(cellValue) Then
            formattedVal(1) = "" & Format(cellValue, "yyyy-mm-dd") & ""
        ElseIf IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "" Then
            formattedVal(1) = "" & Format(cellValue, "yyyy-mm-dd") & ""
        Else
            formattedVal(1) = "NULL"
        End If

        ' Column C (3) -> N_Arret (tinyint)
        cellValue = ws.Cells(r, 3).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(2) = "NULL"
        Else
            formattedVal(2) = cellValue
        End If

        ' Column D (4) -> Temps_Arret (time)
        cellValue = ws.Cells(r, 4).Value
        If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
            formattedVal(3) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
        Else
            formattedVal(3) = "NULL"
        End If

        ' Column I (9) -> Commentaire (nvarchar(200))
        cellValue = ws.Cells(r, 9).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(8) = "NULL"
        Else
            formattedVal(8) = "" & Replace(cellValue, "'", "'") & ""
        End If

        ' Column J (10) -> Debut_Intervention (time)
        cellValue = ws.Cells(r, 10).Value
        If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
            formattedVal(9) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
        Else
            formattedVal(9) = "NULL"
        End If

        ' Column K (11) -> Fin_Intervention (time)
        cellValue = ws.Cells(r, 11).Value
        If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
            formattedVal(10) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
        Else
            formattedVal(10) = "NULL"
        End If

        ' Column L (12) -> Temps_Mise_en_Marche (time)
        cellValue = ws.Cells(r, 12).Value
        If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
            formattedVal(11) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
        Else
            formattedVal(11) = "NULL"
        End If

        ' Column M (13) -> Duree_Intervention (time)
        cellValue = ws.Cells(r, 13).Value
        If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
            formattedVal(12) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
        Else
            formattedVal(12) = "NULL"
        End If

        ' Column E (5) -> Ensemble_Defaillance (nvarchar(50))
        cellValue = ws.Cells(r, 5).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(4) = "NULL"
        Else
            formattedVal(4) = "" & Replace(cellValue, "'", "'") & ""
        End If

        ' Column F (6) -> Sous_Ensemble_Defaillance (nvarchar(50))
        cellValue = ws.Cells(r, 6).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(5) = "NULL"
        Else
            formattedVal(5) = "" & Replace(cellValue, "'", "'") & ""
        End If

        ' Column G (7) -> Composant_Defaillance (nvarchar(100))
        cellValue = ws.Cells(r, 7).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(6) = "NULL"
        Else
            formattedVal(6) = "" & Replace(cellValue, "'", "'") & ""
        End If

        ' Column H (8) -> Defaillance (nvarchar(50))
        cellValue = ws.Cells(r, 8).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(7) = "NULL"
        Else
            formattedVal(7) = "" & Replace(cellValue, "'", "'") & ""
        End If

        ' Column I (9) -> Commentaire (nvarchar(200))
        cellValue = ws.Cells(r, 9).Value
        If Trim(cellValue & "") = "" Then
            formattedVal(8) = "NULL"
        Else
            formattedVal(8) = "" & Replace(cellValue, "'", "'") & ""
        End If
    Next r
End Sub

```

```

' Column M (13) -> Duree_Intervention (time)
cellValue = ws.Cells(r, 13).Value
If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
    formattedVal(12) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
Else
    formattedVal(12) = "NULL"
End If

' Column N (14) -> Duree_Arret (time)
cellValue = ws.Cells(r, 14).Value
If IsDate(cellValue) Or (IsNumeric(cellValue) And cellValue <> "") Then
    formattedVal(13) = "" & Format(cellValue, "HH:mm:ss") & ""
Else
    formattedVal(13) = "NULL"
End If

' Append all formatted values to the SQL statement
For i = 1 To 13
    sSQL = sSQL & formattedVal(i)
    If i < 13 Then sSQL = sSQL & ", "
Next i
sSQL = sSQL & ")"

' Execute the SQL statement; if an error occurs, it will report the row number.
On Error Resume Next
conn.Execute sSQL
If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Error transferring row " & r & ":" & vbCrLf & Err.Description, vbExclamation
    Err.Clear
End If
On Error GoTo 0
Next r

conn.Close
Set conn = Nothing
Application.ScreenUpdating = True
MsgBox "Data transfer complete."
End Sub

```

Figure 29 : Exemple de programme VBA pour le transfert des données à l'échelle de la feuille des arrêts non planifiés vers leur table de données

2.2.4. Nettoyage des Données après Envoi (Préparation pour le Cycle Suivant)

Une fois que les données ont été transférées avec succès vers la base de données, les champs de saisie sur le formulaire Excel sont automatiquement effacés par la macro. Cette étape est cruciale pour plusieurs raisons :

- Préparation à la Nouvelle Saisie :** Le formulaire est prêt pour l'enregistrement du prochain événement ou cycle de production.
- Prévention de la Duplication Accidentelle :** Cela évite qu'un opérateur ne clique à nouveau par inadvertance sur "Submit" et ne réinsère les mêmes données, ce qui pourrait créer des doublons.

```

Sub ClearSheetsData()
    Dim ws As Worksheet
    Dim lastRow As Long
    Dim sheetName As Variant ' Must be Variant to loop through an array
    Dim headerRow As Long
    Dim firstDataColumn As Long
    Dim lastDataColumn As Long

    ' IMPORTANT: Adjust these to your ACTUAL Excel sheet names
    Dim sheetsToProcess As Variant
    sheetsToProcess = Array("Arrets_Non_Planifier", "Arrets_Planifier", "Sacs_produit")

    If MsgBox("Do you want to clear data from all sheets?", vbYesNo + vbQuestion, "Confirm Clear") = vbNo Then Exit Sub

    On Error GoTo ClearErrorHandler

    For Each sheetName In sheetsToProcess
        Set ws = ThisWorkbook.Sheets(sheetName)

        ' --- Sheet-Specific Configuration for Clearing ---
        Select Case sheetName
            Case "Arrets_Non_Planifier"
                headerRow = 7
                firstDataColumn = 2 ' Column B
                lastDataColumn = 14 ' Column N

            Case "Arrets_Planifier"
                headerRow = 8
                firstDataColumn = 3 ' Column C
                lastDataColumn = 10 ' Column J

            Case "Sacs_produit"
                headerRow = 8
                firstDataColumn = 3 ' Column C
                lastDataColumn = 7 ' Column G
        End Select

        ws.Cells(headerRow, firstDataColumn).Clear
        ws.Cells(headerRow, lastDataColumn).Clear
    Next sheetName
End Sub

```

```

' *** ACTION REQUIRED: Configure this case for your "Donnees" sheet ***
Case "Donnees"
    headerRow = 1      ' PLEASE UPDATE: What is the header row?
    firstDataColumn = 1 ' PLEASE UPDATE: What is the first column with data?
    lastDataColumn = 10 ' PLEASE UPDATE: What is the last column with data?

Case Else
    ' This case will now only run if a sheet is added to the array but not here
    MsgBox "Warning: Clear configuration missing for sheet '" & sheetName & "'. Skipping.", vbExclamation
    GoTo NextSheet ' Skip to the next iteration of the loop
End Select
' --- End Sheet-Specific Configuration ---

' Find the last row with data dynamically based on the first data column
lastRow = ws.Cells(ws.Rows.Count, firstDataColumn).End(xlUp).Row

' Clear contents from the row *after* the headers to the last row
If lastRow > headerRow Then ' Only clear if there's data below the headers
    ws.Range(ws.Cells(headerRow + 1, firstDataColumn), ws.Cells(lastRow, lastDataColumn)).ClearContents
End If

NextSheet:
    Next sheetName

    MsgBox "All specified sheets have been cleared successfully.", vbInformation
    Exit Sub

ClearErrorHandler:
    MsgBox "An error occurred while clearing sheets." & vbCrLf & vbCrLf & _
        "Error " & Err.Number & ": " & Err.Description, vbCritical
End Sub

```

Figure 30 : Programme VBA pour le nettoyage des données des feuilles Excel

V. Automatisation du Processus d'Analyse de Performance dans la Base de Données :

1. Création et Automatisation du Processus de Calcul des Temps de Cycle de Production

Cette partie du rapport explore la mise en œuvre de l'automatisation des calculs des indicateurs de performance directement au sein de la base de données SQL Server. En centralisant la logique de calcul à ce niveau, nous garantissons la cohérence, la fiabilité et la performance des analyses, sans dépendre d'une intervention manuelle ou de traitements externes.

L'analyse des performances de la ligne d'ensachage repose sur la décomposition standardisée du temps de cycle, comme détaillé précédemment selon la norme AFNOR NF E 60-182. Pour garantir que ces indicateurs soient toujours à jour et précis, un processus automatisé de calcul a été mis en place directement dans la base de données. Ce processus s'appuie sur les données brutes issues des formulaires de saisie Excel et stockées dans les tables Arrêts_Planifier, Arrêts_Non_Planifier et Sacs_Produit.

1.1. Déclaration et Structure de la Table "Cycle_Production" /

La table Cycle_Production est le réceptacle final des indicateurs de temps de cycle calculés. Elle a été préalablement créée dans la base de données LigneEnsachage avec la structure suivante :

| Nom de Colonne | Type de Données | Nullable | Description |
|----------------------------------|-----------------|----------|--|
| Cycle | DATE | TRUE | Date du cycle de production analysé. |
| N_Total_Arrets_Planifier | TINYINT | TRUE | Nombre total d'arrêts planifiés pour le cycle. |
| Som_Temps_Arrets_Planifier | TIME(7) | TRUE | Somme des durées des arrêts planifiés. |
| N_Total_Arrets_Non_Planifier | TINYINT | TRUE | Nombre total d'arrêts non planifiés pour le cycle. |
| Som_Temps_Arrets_Non_Planifier | TIME(7) | TRUE | Somme des durées des arrêts non planifiés. |
| CadenceReal_s_Sac | TIME(7) | TRUE | Cadence réelle de production (secondes par sac). |
| EcartCadence_s_Sac | TIME(7) | TRUE | Écart entre la cadence réelle et la cadence théorique de référence. |
| Som_Temps_Ecart_Cadence | TIME(7) | TRUE | Somme des temps perdus due aux écarts de cadence. |
| Som_Temps_Production_Non_Qualite | TIME(7) | TRUE | Somme des temps perdus due à la production non conforme. |
| TempsRequis | TIME(7) | TRUE | Temps pendant lequel l'équipement est requis pour produire. |
| TempsBrut | TIME(7) | TRUE | Temps maximal théoriquement disponible pour la production. |
| TempsNet_TDT | TIME(7) | TRUE | Temps réel de fonctionnement après déduction de tous les arrêts. |
| TempsUtile | TIME(7) | TRUE | Temps réel pendant lequel l'équipement a produit des pièces conformes. |

Tableau 8 : structure de tableau de données de Cycle de production

| Column Name | Data Type | Allow Nulls |
|----------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| Cycle | date | <input checked="" type="checkbox"/> |
| N_Total_Arrets_Planifier | tinyint | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Som_Temps_Arrets_Planifier | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| N_Total_Arrets_Non_Planifier | tinyint | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Som_Temps_Arrets_Non_Planifier | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| CadenceReel_s_Sac | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| EcartCadence_s_Sac | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Som_Temps_Ecart_Cadence | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Som_Temps_Production_Non_Qualite | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TempsRequis | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TempsBrut | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TempsNet_TDT | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TempsUtile | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figure 31 : Tableau de données de Cycle de production dans SSMS

Cette table est le point de convergence des calculs, recevant des données agrégées et transformées des tables sources.

1.2. Implémentation de la Procédure de Calcul des Indicateurs (Triggers et Procédures Stockées)

L'automatisation du calcul des champs de la table Cycle_Production s'effectue directement au niveau de la base de données. Pour cela, un mécanisme de déclenchement (trigger) est mis en place sur les tables sources (Arrets_Planifier, Arrets_Non_Planifier, Sacs_Produit). Ce trigger, ou un ensemble de triggers, sera responsable d'invoquer une ou plusieurs procédures stockées qui exécuteront les calculs complexes.

Principe de Fonctionnement :

a. Tables Cibles (Targets) et Tables Déclencheurs (Triggers) :

- Les tables Arrets_Planifier, Arrets_Non_Planifier, et Sacs_Produit sont les **tables déclencheurs** (Trigger Tables). Toute nouvelle insertion de données (ou mise à jour) dans l'une de ces tables servira de signal pour initier le processus de calcul.
- La table Cycle_Production est la **table cible** (Target Table). C'est dans cette table que les résultats des calculs (les temps de cycle décomposés et autres indicateurs) seront insérés ou mis à jour quotidiennement.

b. Mécanisme de Déclenchement Automatique : Le code SQL (typiquement un AFTER INSERT, AFTER UPDATE trigger sur les tables sources) est configuré pour s'exécuter automatiquement. Lorsque l'utilisateur soumet des données depuis Excel via la macro VBA, et que ces données sont insérées dans l'une des tables sources, le trigger est activé. Il ne nécessite aucune intervention manuelle pour lancer les calculs.

c. Logique de Calcul au Niveau SQL : Le cœur de l'automatisation réside dans les requêtes SQL et/ou les procédures stockées qui implémentent la logique de calcul. Ces calculs sont effectués pour la date du jour correspondant aux données nouvellement transférées. Voici les opérations spécifiques :

- **Cycle (Date du Cycle) :** La date du cycle est déterminée en extrayant la date unique présente dans les données fraîchement transférées des trois tables sources. Étant donné que le transfert est journalier, on s'attend à une date cohérente pour l'ensemble des enregistrements du jour.
- **N_Total_Arrets_Planifier :** Ce champ est calculé en allant chercher dans la table Arrets_Planifier le nombre maximal (MAX) de l'**N_Arret_Planifier** pour la date du cycle concernée. Cela représente le dernier arrêt enregistré et, logiquement, le nombre total d'arrêts planifiés pour cette journée.
- **Som_Temps_Arrets_Planifier :** Il s'obtient en faisant la somme (SUM) de toutes les **Duree_Arret_Planifier** (type TIME(7)) pour la date du cycle dans la table Arrets_Planifier. SQL Server gérera l'agrégation de ces types TIME(7).
- **N_Total_Arrets_Non_Planifier :** Similaire aux arrêts planifiés, ce calcul sélectionne la valeur maximale (MAX) de l'**N_Arret** dans la table Arrets_Non_Planifier pour la date du cycle.
- **Som_Temps_Arrets_Non_Planifier :** Ce champ est la somme (SUM) des **Duree_Arret** (type TIME(7)) dans la table Arrets_Non_Planifier pour la date du cycle.

- TempsRequis : Le calcul est effectué comme suit : $\text{CONVERT}(\text{TIME}(7), '16:00:00') - \text{Som_Temps_Arrets_Planifier}$. Il est crucial de noter que cette opération de soustraction de deux $\text{TIME}(7)$ donnera un résultat en $\text{TIME}(7)$. Le 16:00:00 représente la période d'ouverture effective de la ligne sur 16 heures (de 6h00 à 22h00).
- TempsBrut : Ce champ est calculé par l'opération : $\text{TempsRequis} - \text{Som_Temps_Arrets_Non_Planifier}$.
- CadenceReal_s_Sac : Pour ce calcul, il faut récupérer N_Sacs_Total_Produit depuis la table Sacs_Produit pour la date du cycle. Le TempsBrut (qui est en $\text{TIME}(7)$) doit être converti en secondes pour effectuer la division. La formule est : $(\text{CAST}(\text{TempsBrut AS FLOAT}) * 86400.0) / \text{N_Sacs_Total_Produit}$. Le résultat en secondes par sac sera ensuite reconverti en $\text{TIME}(7)$ (hh:mm:ss.ms) pour le stockage, par exemple 00:00:02.6000000.
- EcartCadence_s_Sac : Ce champ est le résultat de la soustraction : $\text{CadenceReal_s_Sac} - \text{CONVERT}(\text{TIME}(7), '00:00:02.4000000')$. La valeur 00:00:02.4000000 représente la cadence théorique idéale par sac.
- Som_Temps_Ecart_Cadence : Ce calcul implique de prendre N_Sacs_Total_Produit de la table Sacs_Produit, de convertir EcartCadence_s_Sac en secondes, et d'appliquer l'opération : $(\text{CAST}(\text{EcartCadence_s_Sac AS FLOAT}) * 86400.0) * \text{N_Sacs_Total_Produit}$. Le résultat, exprimé en secondes, sera ensuite reconverti en $\text{TIME}(7)$ pour être stocké.
- TempsNet_TDT : Le calcul est : $\text{TempsBrut} - \text{Som_Temps_Ecart_Cadence}$.
- Som_Temps_Production_Non_Qualite : Ce champ est obtenu en récupérant N_Sacs_Non_Conforme de la table Sacs_Produit et en le multipliant par la durée théorique de production d'un sac : $\text{N_Sacs_Non_Conforme} * \text{CONVERT}(\text{TIME}(7), '00:00:02.4000000')$. Le résultat sera en $\text{TIME}(7)$.
- TempsUtile : Le calcul final est : $\text{TempsNet_TDT} - \text{Som_Temps_Production_Non_Qualite}$.

d. Mise à Jour ou Insertion : Le processus vérifiera si un enregistrement pour la date du cycle existe déjà dans Cycle_Production. Si oui, il mettra à jour les champs ; sinon, il insérera un nouvel enregistrement.

```

SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))  DESKTOP-48KG94C\T...Cycle_Production  DESKTOP-48KG94C\T...dbo.Sacs_Produit

USE [LigneEnsacheuse ]
GO

/***** Object: StoredProcedure [dbo].[sp_UpdateCycleProduction]    Script Date: 23/06/2025 09:16:21 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

ALTER PROCEDURE [dbo].[sp_UpdateCycleProduction]
    @Cycle DATE
AS
BEGIN
    SET NOCOUNT ON;
    BEGIN TRY
        -----
        -- Declare variables for aggregations and calculations
        -----
        DECLARE @N_Total_Arrets_Planifier    TINYINT;
        DECLARE @SumPlanifier_sec            INT;  -- total seconds from Arrets_Planifier
        DECLARE @N_Total_Arrets_Non_Planifier TINYINT;
        DECLARE @SumNonPlanifier_sec         INT;  -- total seconds from Arrets_Non_Planifier

        -- Variables for calculated durations (in seconds and milliseconds)
        DECLARE @TempsRequis_sec             INT;
        DECLARE @TempsBrut_sec               INT;
        DECLARE @TempsBrut_ms                INT;

        DECLARE @N_Sacs_Total_Produit        SMALLINT;
        DECLARE @N_Sacs_Non_Conforme        SMALLINT;

```

```

SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))  DESKTOP-48KG94C\T...Cycle_Production  DESKTOP-48KG94C\T...dbo.Sacs_Produit

        -----
        -- New variable for CadenceReel_s_Sac calculation (in seconds per sack)
        -----
        DECLARE @CadenceReel_Sac_sec        DECIMAL(10,2);

        DECLARE @EcartCadence_ms            INT;
        DECLARE @Som_Temps_Ecart_Cadence_ms INT;
        DECLARE @TempsNet_TDT_ms            INT;
        DECLARE @Som_Temps_Production_Non_Qualite_ms INT;
        DECLARE @TempsUtile_ms              INT;

        -- Fixed constants: 16:00:00 in seconds and 2.400 seconds in milliseconds.
        DECLARE @Const_TempsRequis_sec INT = 16 * 3600;  -- 57600 seconds
        DECLARE @Const_EcartCadence_ms INT = 2400;      -- 2400 ms

        -----
        -- Retrieve aggregated data from Arrets_Planifier for the given Cycle
        -----
        SELECT
            @N_Total_Arrets_Planifier = MAX(N_Arret_Planifier),
            @SumPlanifier_sec = ISNULL(SUM(DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', Duree_Arret_Planifier)), 0)
        FROM Arrets_Planifier
        WHERE Cycle = @Cycle;

        -----
        -- Retrieve aggregated data from Arrets_Non_Planifier for the given Cycle
        -----
        SELECT
            @N_Total_Arrets_Non_Planifier = MAX(N_Arret),
            @SumNonPlanifier_sec = ISNULL(SUM(DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', Duree_Arret)), 0)
        FROM Arrets_Non_Planifier
        WHERE Cycle = @Cycle;

```



```

SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))  X DESKTOP-48KG94C\T...Cycle_Production DESKTOP-48KG94C\T...dbo.Sacs_Produit

-- Calculate TempsRequis and TempsBrut (in seconds)

SET @TempsRequis_sec = @Const_TempsRequis_sec - @SumPlanifier_sec;
SET @TempsBrut_sec = @TempsRequis_sec - @SumNonPlanifier_sec;
SET @TempsBrut_ms = @TempsBrut_sec * 1000;

-- Retrieve production data from Sacs_Produit for the given Cycle.

SELECT TOP 1
    @N_Sacs_Total_Produit = N_Sacs_Total_Produit,
    @N_Sacs_Non_Conforme = N_Sacs_Non_Conforme
FROM Sacs_Produit
WHERE cycle = @Cycle;

IF @N_Sacs_Total_Produit IS NULL
    SET @N_Sacs_Total_Produit = 0;
IF @N_Sacs_Non_Conforme IS NULL
    SET @N_Sacs_Non_Conforme = 0;

-- New Calculation for CadenceReel_s_Sac:
-- The formula is:
-- CadenceReel_Sac_h = (N_Sacs_Total_Produit * 3600) / TempsBrut_sec
-- Then, CadenceReel_s_Sac = 3600 / CadenceReel_Sac_h.
--
-- Algebraically, this simplifies to:
-- CadenceReel_s_Sac = TempsBrut_sec / N_Sacs_Total_Produit.

IF @N_Sacs_Total_Produit > 0 AND @TempsBrut_sec > 0
    SET @CadenceReel_Sac_sec = @TempsBrut_sec * 1.0 / @N_Sacs_Total_Produit;
ELSE

SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))  X DESKTOP-48KG94C\T...Cycle_Production DESKTOP-48KG94C\T...dbo.Sacs_Produit

IF @N_Sacs_Total_Produit > 0 AND @TempsBrut_sec > 0
    SET @CadenceReel_Sac_sec = @TempsBrut_sec * 1.0 / @N_Sacs_Total_Produit;
ELSE
    SET @CadenceReel_Sac_sec = 0;

-- Calculate EcartCadence_s_Sac:
-- Difference between the (new) average time per sack (in ms) and a fixed 2.400 sec (2400 ms)

SET @EcartCadence_ms = ROUND(((@TempsBrut_sec * 1000.0 / @N_Sacs_Total_Produit) - @Const_EcartCadence_ms), 0);

-- Calculate Som_Temps_Ecart_Cadence:
-- Multiply the cadence difference per sack by the number of sacks.

SET @Som_Temps_Ecart_Cadence_ms = @EcartCadence_ms * @N_Sacs_Total_Produit;

-- Calculate TempsNet_TDT:
-- Calculated as TempsBrut minus Som_Temps_Ecart_Cadence.

SET @TempsNet_TDT_ms = @TempsBrut_ms - @Som_Temps_Ecart_Cadence_ms;

-- Calculate Som_Temps_Production_Non_Qualite:
-- Calculated as N_Sacs_Non_Conforme multiplied by 2.400 sec (2400 ms)

SET @Som_Temps_Production_Non_Qualite_ms = @N_Sacs_Non_Conforme * @Const_EcartCadence_ms;

-- Calculate TempsUtile:
-- Calculated as TempsNet_TDT minus Som_Temps_Production_Non_Qualite.

```

```

SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))  DESKTOP-48KG94C\T...Cycle_Production  DESKTOP-48KG94C\T...dbo.Sacs_Produit

-- Calculate TempsUtile:
-- Calculated as TempsNet_TDT minus Som_Temps_Production_Non_Qualite.

SET @TempsUtile_ms = @TempsNet_TDT_ms - @Som_Temps_Production_Non_Qualite_ms;

-- Upsert (MERGE) the calculated values into Cycle_Production.

MERGE Cycle_Production AS target
USING (SELECT @Cycle AS Cycle) AS source
ON target.Cycle = source.Cycle
WHEN MATCHED THEN
    UPDATE SET
        N_Total_Arrets_Planifier = @N_Total_Arrets_Planifier,
        Som_Temps_Arrets_Planifier = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @SumPlanifier_sec, '00:00:00')),
        N_Total_Arrets_Non_Planifier = @N_Total_Arrets_Non_Planifier,
        Som_Temps_Arrets_Non_Planifier = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @SumNonPlanifier_sec, '00:00:00')),
        TempsRequis = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @TempsRequis_sec, '00:00:00')),
        TempsBrut = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @TempsBrut_sec, '00:00:00')),
        CadenceReel_s_Sac = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @CadenceReel_Sac_sec, '00:00:00')),
        EcartCadence_s_Sac = CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @EcartCadence_ms, '00:00:00')),
        Som_Temps_Ecart_Cadence = CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @Som_Temps_Ecart_Cadence_ms, '00:00:00')),
        TempsNet_TDT = CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @TempsNet_TDT_ms, '00:00:00')),
        Som_Temps_Production_Non_Qualite = CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @Som_Temps_Production_Non_Qualite_ms, '00:00:00')),
        TempsUtile = CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @TempsUtile_ms, '00:00:00'))
WHEN NOT MATCHED THEN
    INSERT (Cycle, N_Total_Arrets_Planifier, Som_Temps_Arrets_Planifier,
            N_Total_Arrets_Non_Planifier, Som_Temps_Arrets_Non_Planifier,
            TempsRequis, TempsBrut, CadenceReel_s_Sac, EcartCadence_s_Sac,
            Som_Temps_Ecart_Cadence, TempsNet_TDT, Som_Temps_Production_Non_Qualite, TempsUtile)
    VALUES (
        @Cycle,
        @N_Total_Arrets_Planifier,
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @SumPlanifier_sec, '00:00:00')),
        @N_Total_Arrets_Non_Planifier,
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @SumNonPlanifier_sec, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @TempsRequis_sec, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @TempsBrut_sec, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @CadenceReel_Sac_sec, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @EcartCadence_ms, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @Som_Temps_Ecart_Cadence_ms, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @TempsNet_TDT_ms, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @Som_Temps_Production_Non_Qualite_ms, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(MILLISECOND, @TempsUtile_ms, '00:00:00'))
    );
END TRY
BEGIN CATCH
    DECLARE @ErrorMessage NVARCHAR(4000) = ERROR_MESSAGE();
    RAISERROR(@ErrorMessage, 16, 1);
END CATCH
END
GO

```

Figure 32 : Requête SQL pour l'automatisation du calcul, de l'analyse et de la saisie des nouvelles données dans le tableau du cycle de production

Cette automatisation garantit que la table Cycle_Production est une source de données fiable et constamment actualisée pour tous les besoins d'analyse de performance et de tableau de bord.

2. Création et Automatisation du Calcul des Indicateurs Clés de Performance (KPIs) de Maintenance

Au-delà des indicateurs de temps de cycle de production, le système automatise également le calcul de KPIs spécifiques à la maintenance. Ces indicateurs sont agrégés dans une table dédiée et leur calcul est déclenché par l'arrivée de nouvelles données.

2.1. Structure de la Table "KPIs_Maintenance"

La table KPIs_Maintenance, créée dans la base de données LigneEnsacheuse, est conçue pour stocker les résultats des calculs des indicateurs de performance de maintenance. Sa structure est la suivante :

| Nom de Colonne | Type de Données | Nullable | Description |
|------------------------------------|---------------------|-------------|--|
| Cycle | DATE | TRUE | Date du cycle de production auquel se rapportent les KPIs. |
| MTBF | TIME(7) | TRUE | Temps Moyen Entre les Défaillances. |
| MTTR | TIME(7) | TRUE | Temps Moyen de Réparation. |
| Taux de Défaillance | DECIMAL(6,4) | TRUE | Taux de Défaillance. |
| Taux de Réparation | DECIMAL(6,4) | TRUE | Taux de Réparation. |
| Taux Maintenance Préventive | DECIMAL(6,4) | TRUE | Taux de Maintien Préventif (ou Temps Moyen de Maintenance Préventive). |
| Taux Réactivité | DECIMAL(6,4) | TRUE | Taux de Réactivité aux défaillances. |

Tableau 9 : Structure de Tableau de données de "KPIs_Maintenance"

2.2. Logique et Automatisation du Calcul des KPIs

Le calcul des KPIs de maintenance est entièrement automatisé via des procédures SQL stockées et des déclencheurs (TRIGGERS) définis dans la base de données. L'objectif est d'assurer que ces indicateurs soient calculés et mis à jour dès que les données source nécessaires sont disponibles.

a. Cibles et Déclencheurs :

- La table KPIs_Maintenance est la **cible** des calculs ; c'est là que les résultats finaux sont insérés ou mis à jour.
- La table Cycle_Production est le principal **déclencheur** (TRIGGER). L'insertion ou la mise à jour d'une ligne dans Cycle_Production (qui, elle-même, est mise à jour par les

données des arrêts et de production) active une procédure de calcul des KPIs de maintenance pour le Cycle correspondant.

- Pour certains KPIs, les calculs nécessitent également de "déclencher" (accéder) directement les tables sources (Arrets_Planifier et Arrets_Non_Planifier) pour des données granulaires non agrégées dans Cycle_Production.
- b. Processus de Calcul et Logique SQL :** Le code SQL, intégré dans des procédures stockées exécutées par les triggers, effectue les opérations suivantes pour chaque KPI pour la date du cycle concernée :
 - Cycle : La date du cycle est la référence principale pour tous les calculs. Elle est obtenue directement à partir de la date de la nouvelle entrée dans la table Cycle_Production.
 - MTBF (**Mean Time Between Failures**) :
 - **Source** : TempsBrut et N_Total_Arrets_Non_Planifier de la table Cycle_Production.
 - **Logique** : $MTBF = \text{TempsBrut} / N_Total_Arrets_Non_Planifier$.
 - **Implémentation** : Le TempsBrut, qui est au format TIME(7), est d'abord converti en secondes (TempsBrut_s) pour permettre la division numérique. Le résultat de cette division est ensuite reconverti au format TIME(7) pour le stockage dans la table KPIs_Maintenance.
 - MTTR (**Mean Time To Repair**) :
 - **Source** : Som_Temps_Arret_Non_Planifier et N_Total_Arrets_Non_Planifier de la table Cycle_Production.
 - **Logique** : $MTTR = \text{Som_Temps_Arret_Non_Planifier} / N_Total_Arrets_Non_Planifier$.
 - **Implémentation** : De même, Som_Temps_Arret_Non_Planifier est converti en secondes (Som_Temps_Arret_Non_Planifier_s) avant la division. Le MTTR résultant est ensuite stocké au format TIME(7).
 - TauxDefaillance (**Failure Rate**) :
 - **Source** : MTBF.
 - **Logique** : $\text{TauxDefaillance} = 1 / MTBF_h$.
 - **Implémentation** : Le MTBF (au format TIME(7)) est d'abord converti en heures (MTBF_h) pour la division. Le résultat est enregistré au format DECIMAL(6,4).
 - TauxReparation (**Repair Rate**) :
 - **Source** : MTTR.
 - **Logique** : $\text{TauxReparation} = 1 / MTTR_h$.
 - **Implémentation** : Le MTTR (au format TIME(7)) est converti en heures (MTTR_h). Le résultat est stocké au format DECIMAL(6,4).
 - TauxReactivite (**Reactivity Rate**) :
 - **Source** : Som_Temps_Arret_Non_Planifier de Cycle_Production et Duree_Intervention de Arrets_Non_Planifier.
 - **Logique** : $(1 - (\text{Duree_Intervention_Total} / \text{Som_Temps_Arret_Non_Planifier})) * 100$.
 - **Implémentation** : Le code agrège la somme de toutes les Duree_Intervention pour le cycle courant depuis la table Arrets_Non_Planifier pour obtenir

Duree_Intervention_Total. Cette somme, ainsi que Som_Temps_Arret_Non_Planifier (obtenu de Cycle_Production), sont converties en secondes (Duree_Intervention_Total_s, Som_Temps_Arret_Non_Planifier_s) avant d'effectuer la division. Le résultat est un pourcentage stocké en DECIMAL(6,4).

○ **TMP (Taux de Maintien Préventif) :**

- **Source :** Duree_Arret_Planifier de Arrêts_Planifier (filtré par Categorie_Arret_Planifier = 'Maintenance') et Duree_Intervention_Total_s (calculée pour le TauxReactivite).
- **Logique :** $(Duree_Arret_Planifier_Maintenance / (Duree_Arret_Planifier_Maintenance + Duree_Intervention_Total_s)) * 100$.
- **Implémentation :** Le code identifie et somme toutes les Duree_Arret_Planifier pour la date du cycle où la Categorie_Arret_Planifier est spécifiquement 'Maintenance'. Cette somme est convertie en secondes (Duree_Arret_Planifier_Maintenance_s). Ensuite, le calcul est effectué en utilisant cette valeur et la Duree_Intervention_Total_s précédemment calculée. Le résultat est un pourcentage stocké en DECIMAL(6,4).

Ce mécanisme d'automatisation garantit que tous les KPIs de maintenance sont systématiquement calculés et mis à jour en temps réel dès que de nouvelles données de cycle de production sont disponibles, fournissant ainsi une base solide pour le suivi et l'amélioration continue des opérations.

| Column Name | Data Type | Allow Nulls |
|-----------------|---------------|-------------------------------------|
| Cycle | date | <input checked="" type="checkbox"/> |
| MTBF | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| MTTR | time(7) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TauxDefaillance | decimal(6, 4) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TauxReparation | decimal(6, 4) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TMP | decimal(6, 4) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TauxReactivite | decimal(6, 4) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | <input type="checkbox"/> |

Figure 33 : Conception et Création de Tableau KPIs de Maintenance dans Database

SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54))*
DESKTOP-48KG94C\...KPIs_Maintenance
SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))

```

USE [LigneEnsacheuse ]
GO

/***** Object: StoredProcedure [dbo].[Calculate_KPIs_Maintenance_For_Cycle] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

-----
-- 1. Stored Procedure: Calculate_KPIs_Maintenance_For_Cycle
-----
ALTER PROCEDURE [dbo].[Calculate_KPIs_Maintenance_For_Cycle]
    @Cycle DATE
AS
BEGIN
    SET NOCOUNT ON;
    BEGIN TRY
        -----
        -- Variable declarations
        -----
        DECLARE
            @TempsBrut_sec INT,                -- from Cycle_Production converted to seconds
            @N_Total_Arrets_Non_Planifier INT,  -- from Cycle_Production
            @SomArretsNonPlanifier_sec INT,      -- from Cycle_Production: Som_Temps_Arrets_Non_Planifier in seconds
            @DureeIntervention_Total_sec INT,    -- from Arrets_Non_Planifier: SUM of Duree_Intervention (in seconds)
            @DureeArretPlanifier_Maintenance_sec INT, -- from Arrets_Planifier (Maintenance category) in seconds
            @MTBF_sec INT,                      -- Mean Time Between Failures (in seconds)
            @MTTR_sec INT;                     -- Mean Time To Repair (in seconds)

        -----
        -- Retrieve data from Cycle_Production for the given Cycle:
        -- Convert TempsBrut and Som_Temps_Arrets_Non_Planifier to seconds.
        -----
        SELECT TOP 1
            @TempsBrut_sec = DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', TempsBrut),
            @N_Total_Arrets_Non_Planifier = N_Total_Arrets_Non_Planifier,
            @SomArretsNonPlanifier_sec = ISNULL(DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', Som_Temps_Arrets_Non_Planifier), 0)
        FROM Cycle_Production
        WHERE Cycle = @Cycle;

        -----
        -- Retrieve total intervention duration from Arrets_Non_Planifier (in seconds)
        -----
        SELECT
            @DureeIntervention_Total_sec = ISNULL(SUM(DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', Duree_Intervention)), 0)
        FROM Arrets_Non_Planifier
        WHERE Cycle = @Cycle;

        -----
        -- Retrieve total maintenance downtime from Arrets_Planifier for Maintenance
        -----
        SELECT
            @DureeArretPlanifier_Maintenance_sec = ISNULL(SUM(DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', Duree_Arret_Planifier)), 0)
        FROM Arrets_Planifier
        WHERE Cycle = @Cycle
            AND Categorie_Arret_Planifier = 'Maintenance';
    END TRY
    BEGIN CATCH
        -- Error handling
    END CATCH
END

```

SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54))*
DESKTOP-48KG94C\...KPIs_Maintenance
SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))

SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54))*

DESKTOP-48KG94C\...KPIs_Maintenance

SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))

```

-- Calculate MTBF (Mean Time Between Failures)
-- Formula: MTBF = TempsBrut / N_Total_Arrets_Non_Planifier

IF @N_Total_Arrets_Non_Planifier > 0
    SET @MTBF_sec = @TempsBrut_sec / @N_Total_Arrets_Non_Planifier;
ELSE
    SET @MTBF_sec = 0;

-- Calculate MTTR (Mean Time To Repair)
-- Formula: MTTR = Som_Temps_Arrets_Non_Planifier / N_Total_Arrets_Non_Planifier

IF @N_Total_Arrets_Non_Planifier > 0
    SET @MTTR_sec = @SomArretsNonPlanifier_sec / @N_Total_Arrets_Non_Planifier;
ELSE
    SET @MTTR_sec = 0;

-- TauxDefaillance (Failure Rate):
-- Formula: 1 / MTBF_h, where MTBF_h = MTBF_sec / 3600.

IF @MTBF_sec > 0
    SET @TauxDefaillance = 1.0 / (@MTBF_sec / 3600.0);
ELSE
    SET @TauxDefaillance = NULL;

-- TauxReparation (Repair Rate):
-- Formula: 1 / MTTR_h, where MTTR_h = MTTR_sec / 3600.

IF @MTTR_sec > 0
    SET @TauxReparation = 1.0 / (@MTTR_sec / 3600.0);

IF @MTTR_sec > 0
    SET @TauxReparation = 1.0 / (@MTTR_sec / 3600.0);

-- TauxReactivite (Reactivity Rate):
-- Formula: (1 - (DureeIntervention_Total_sec / SomArretsNonPlanifier_sec)) * 100

IF @SomArretsNonPlanifier_sec > 0
    SET @TauxReactivite = (1 - (@DureeIntervention_Total_sec * 1.0 / @SomArretsNonPlanifier_sec)) * 100;
ELSE
    SET @TauxReactivite = NULL;

-- TMP (Total Maintenance Time Percentage):
-- Formula: (DureeArretPlanifier_Maintenance_sec / (DureeArretPlanifier_Maintenance_sec + DureeIntervention_Total_sec)) * 100

IF (@DureeArretPlanifier_Maintenance_sec + @DureeIntervention_Total_sec) > 0
    SET @TMP = (@DureeArretPlanifier_Maintenance_sec * 1.0 / (@DureeArretPlanifier_Maintenance_sec + @DureeIntervention_Total_sec)) * 100;
ELSE
    SET @TMP = NULL;

-- Upsert the calculated KPIs into KPIs_Maintenance

MERGE KPIs_Maintenance AS target
USING (SELECT @Cycle AS Cycle) AS source
ON target.Cycle = source.Cycle
WHEN MATCHED THEN
    UPDATE SET
        MTBF = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @MTBF_sec, '00:00:00')),

```

```

SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54)) * - X DESKTOP-48KG94C\...KPIs_Maintenance SQLQuery2.sql - DE...KG94C\rachid (63))
ON target.Cycle = source.Cycle
WHEN MATCHED THEN
    UPDATE SET
        MTBF = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @MTBF_sec, '00:00:00')),
        MTTR = CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @MTTR_sec, '00:00:00')),
        TauxDefaillance = @TauxDefaillance,
        TauxReparation = @TauxReparation,
        TauxReactivite = @TauxReactivite,
        TMP = @TMP
WHEN NOT MATCHED THEN
    INSERT (Cycle, MTBF, MTTR, TauxDefaillance, TauxReparation, TauxReactivite, TMP)
    VALUES (
        @Cycle,
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @MTBF_sec, '00:00:00')),
        CONVERT(TIME(7), DATEADD(SECOND, @MTTR_sec, '00:00:00')),
        @TauxDefaillance,
        @TauxReparation,
        @TauxReactivite,
        @TMP
    );
END TRY
BEGIN CATCH
    DECLARE @ErrorMessage NVARCHAR(4000) = ERROR_MESSAGE();
    RAISERROR(@ErrorMessage, 16, 1);
END CATCH
END
GO

```

Figure 34 : Requête SQL pour l'automatisation du calcul, de l'analyse et de la saisie des nouvelles données dans le tableau du KPIs de Maintenance

3. Création et Automatisation du Calcul des Indicateurs Clés de Performance (KPIs) de Production

En complément des indicateurs de maintenance, le système automatise également la génération des KPIs de production, offrant une vue complète sur l'efficacité opérationnelle de la ligne d'ensachage. Ces indicateurs sont agrégés dans une table dédiée et leur calcul est déclenché par la disponibilité de nouvelles données de cycle de production.

3.1. Structure de la Table "KPIs_Production"

La table KPIs_Production, créée dans la base de données LigneEnsachage, est conçue pour stocker les résultats des calculs des indicateurs de performance liés à la production. Sa structure est la suivante :

| Nom de Colonne | Type de Données | Nullable | Description |
|------------------------|-----------------|----------|---|
| Cycle | DATE | TRUE | Date du cycle de production analysé. |
| TSE | TINYINT | TRUE | Taux Stratégique d'Engagement (en pourcentage). |
| TauxCharge | TINYINT | TRUE | Taux de Charge (en pourcentage). |
| TauxPerformance | TINYINT | TRUE | Taux de Performance (en pourcentage). |
| TDT | TINYINT | TRUE | Taux de Disponibilité Technique (en pourcentage). |
| TauxQualite | TINYINT | TRUE | Taux de Qualité (en pourcentage). |
| TRS | TINYINT | TRUE | Taux de Rendement Synthétique (en pourcentage). |
| TRG | TINYINT | TRUE | Taux de Rendement Global (en pourcentage). |
| TRE | TINYINT | TRUE | Taux de Rendement Économique (en pourcentage). |

Tableau 10 : Structure de Tableau de données de "Cycle de Production"

3.2. Logique et Automatisation du Calcul des KPIs de Production :

Le calcul de ces KPIs est entièrement automatisé via des procédures SQL stockées et des déclencheurs (TRIGGERS) dans la base de données. L'objectif est de garantir la mise à jour des indicateurs dès que les données source (principalement la table Cycle_Production et Sacs_Produit) sont disponibles.

a. Cibles et Déclencheurs :

- La table KPIs_Production est la **cible** des calculs.
- La table Cycle_Production est le principal **déclencheur** (TRIGGER) pour la plupart des KPIs de production. L'insertion ou la mise à jour d'une ligne dans Cycle_Production déclenche la procédure de calcul.
- La table Sacs_Produit est également une source de données essentielle, notamment pour le TauxQualite, et ses données agrégées sont utilisées dans le processus de calcul principal (souvent déclenché après l'agrégation quotidienne dans Cycle_Production ou directement pour la date concernée).

b. Processus de Calcul et Logique SQL : La procédure de calcul s'exécute pour chaque Cycle (date) concerné, en récupérant les données nécessaires des tables sources :

- Cycle (**Date du Cycle**) : La date est directement issue de la nouvelle entrée dans la table Cycle_Production, servant de référence pour tous les calculs du jour.
- TSE (**Taux Stratégique d'Engagement**) :
 - **Logique** : $TSE = (Durée\ d'Ouverture\ Effective / Temps\ Total\ de\ Cycle) * 100$.
 - **Implémentation** : Une variable permanente, DureeOuverture = 16 heures, représente le temps d'ouverture de l'entreprise par jour. $TSE = (16.0 / 24.0) * 100$. Le résultat est stocké en TINYINT (pourcentage arrondi).
- TauxCharge (**Taux de Charge**) :
 - **Source** : TempsRequis de Cycle_Production.
 - **Logique** : $TauxCharge = (TempsRequis_s / DureeOuverture_s) * 100$.
 - **Implémentation** : TempsRequis (type TIME(7)) est converti en secondes (TempsRequis_s) en utilisant DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', TempsRequis). La DureeOuverture (16 heures) est également convertie en secondes (16 * 3600.0). Le résultat est stocké en TINYINT.
- TauxPerformance (**Taux de Performance**) :
 - **Source** : CadenceReal_s_Sac de Cycle_Production.
 - **Logique** : $TauxPerformance = (CadenceNominale_Sac_h / CadenceReel_Sac_h) * 100$.
 - **Implémentation** : Une variable permanente CadenceNominale_Sac_h = 1500 sacs par heure est définie. CadenceReal_s_Sac (secondes par sac, type TIME(7)) est d'abord convertie en secondes flottantes (DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', CadenceReal_s_Sac) ou CAST(CadenceReal_s_Sac AS FLOAT) * 86400.0), puis CadenceReel_Sac_h (sacs par heure) est calculée comme 3600.0 / CadenceReal_s_Sac_en_secondes. Le TauxPerformance est alors calculé et stocké en TINYINT.
- TDT (**Taux de Disponibilité Technique**) :

- **Source** : TempsBrut et TempsRequis de Cycle_Production.
- **Logique** : $TDT = (TempsBrut / TempsRequis) * 100$.
- **Implémentation** : TempsBrut et TempsRequis (types TIME(7)) sont convertis en secondes pour la division. Le résultat est stocké en TINYINT.
- **TauxQualite (Taux de Qualité) :**
 - **Source** : N_Sacs_Non_Conforme et N_Sacs_Total_Produit de la table Sacs_Produit (agregés pour le cycle concerné).
 - **Logique** : $TauxQualite = (1 - (N_Sacs_Non_Conforme_Total / N_Sacs_Total_Produit_Total)) * 100$.
 - **Implémentation** : La somme de N_Sacs_Non_Conforme et N_Sacs_Total_Produit est effectuée pour la date du cycle dans la table Sacs_Produit avant le calcul. Le résultat est stocké en TINYINT.
- **TRS (Taux de Rendement Synthétique) :**
 - **Source** : TauxQualite, TauxPerformance, TDT (précédemment calculés).
 - **Logique** : $TRS = (TauxQualite / 100.0) * (TauxPerformance / 100.0) * (TDT / 100.0) * 100$.
 - **Implémentation** : Ce calcul est effectué après que ses composants (Taux Qualité, Taux Performance, TDT) soient disponibles. Le résultat est stocké en TINYINT.
- **TRG (Taux de Rendement Global) :**
 - **Source** : TRS, TauxCharge (précédemment calculés).
 - **Logique** : $TRG = (TRS / 100.0) * (TauxCharge / 100.0) * 100$.
 - **Implémentation** : Calculé et stocké en TINYINT.
- **TRE (Taux de Rendement Économique) :**
 - **Source** : TSE, TRS, TauxCharge (précédemment calculés).
 - **Logique** : $TRE = (TSE / 100.0) * (TRS / 100.0) * (TauxCharge / 100.0) * 100$.
 - **Implémentation** : Calculé et stocké en TINYINT.

SQLQuery4.sql - DE...KG94C\rachid (53))*
SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54))*
DESKTOP-48KG94C\...KPIs_Maintenance

```

USE [LigneEnsacheuse ]
GO

/***** Object:  StoredProcedure [dbo].[sp_UpdateKPIsProduction] *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

ALTER PROCEDURE [dbo].[sp_UpdateKPIsProduction]
    @Cycle DATE
AS
BEGIN
    SET NOCOUNT ON;
    BEGIN TRY
        -----
        -- Declare variables for production KPI calculations
        -----
        DECLARE
            @TSE INT,           -- TSE = (16/24)*100, constant (open duration)
            @TauxCharge INT,    -- = (TempsRequis_sec / 57600)*100
            @TauxPerformance INT, -- = (1500 / CadenceReel_Sac_h)*100, where CadenceReel_Sac_h = 3600 / CadenceReel_s_Sac_sec
            @TDT INT,           -- = (TempsBrut_sec / TempsRequis_sec)*100
            @TauxQualite INT,   -- = (1 - (N_Sacs_Non_Conforme / N_Sacs_Total_Produit))*100
            @TRS INT,           -- = (TauxQualite * TauxPerformance * TDT) / 10000
            @TRG INT,           -- = (TRS * TauxCharge) / 10000
            @TRE INT;           -- = (TSE * TRS * TauxCharge) / 10000

        DECLARE
            @TempsRequis_sec INT, -- from Cycle_Production
            @TempsBrut_sec INT,  -- from Cycle_Production

```

SQLQuery4.sql - DE...KG94C\rachid (53))*
SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54))*
DESKTOP-48KG94C\...KPIs_Maintenance

```

DECLARE
    @TempsRequis_sec INT, -- from Cycle_Production
    @TempsBrut_sec INT,  -- from Cycle_Production
    @CadenceReel_s_Sac_sec INT, -- from Cycle_Production (seconds per bag)
    @CadenceReel_Sac_h DECIMAL(10,2); -- calculated sacks per hour

DECLARE
    @N_Sacs_Total_Produit SMALLINT,
    @N_Sacs_Non_Conforme SMALLINT;

-----
-- Calculate TSE. (DureeOuverture constant = 16 hours)
-- TSE = (16/24) * 100
-----

SET @TSE = ROUND((16.0/24)*100, 0);

-----
-- Retrieve data from Cycle_Production for the given Cycle:
-- TempsRequis, TempsBrut, CadenceReel_s_Sac
-----

SELECT TOP 1
    @TempsRequis_sec = DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', TempsRequis),
    @TempsBrut_sec = DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', TempsBrut),
    @CadenceReel_s_Sac_sec = DATEDIFF(SECOND, '00:00:00', CadenceReel_s_Sac)
FROM Cycle_Production
WHERE Cycle = @Cycle;

-----
-- Retrieve production data from Sacs_Produit for the given Cycle:
-- N_Sacs_Total_Produit and N_Sacs_Non_Conforme
-----

SELECT TOP 1
    @N_Sacs_Total_Produit = N_Sacs_Total_Produit,

```

```

SELECT TOP 1
    @N_Sacs_Total_Produit = N_Sacs_Total_Produit,
    @N_Sacs_Non_Conforme = N_Sacs_Non_Conforme
FROM Sacs_Produit
WHERE cycle = @Cycle;

-- Set defaults if any are NULL
IF @TempsRequis_sec IS NULL SET @TempsRequis_sec = 0;
IF @TempsBrut_sec IS NULL SET @TempsBrut_sec = 0;
IF @CadenceReel_s_Sac_sec IS NULL SET @CadenceReel_s_Sac_sec = 0;
IF @N_Sacs_Total_Produit IS NULL SET @N_Sacs_Total_Produit = 0;
IF @N_Sacs_Non_Conforme IS NULL SET @N_Sacs_Non_Conforme = 0;

-----
-- TauxCharge:
-- DureeOuverture in seconds = 16*3600 = 57600.
-- TauxCharge = (TempsRequis_sec / 57600)*100.
-----

SET @TauxCharge = CASE WHEN 57600 > 0
    THEN ROUND((@TempsRequis_sec*100.0)/57600, 0)
    ELSE 0 END;

-----
-- TauxPerformance:
-- First, calculate CadenceReel_Sac_h = 3600 / CadenceReel_s_Sac_sec.
-- Then TauxPerformance = (1500 / CadenceReel_Sac_h)*100.
-----

IF @CadenceReel_s_Sac_sec > 0
BEGIN
    SET @CadenceReel_Sac_h = 3600.0 / @CadenceReel_s_Sac_sec;
    SET @TauxPerformance = ROUND((1500.0 / @CadenceReel_Sac_h)*100, 0);
END
ELSE

```

```

    SET @TauxPerformance = 0;

-----
-- TDT:
-- TDT = (TempsBrut_sec / TempsRequis_sec)*100
-----

SET @TDT = CASE WHEN @TempsRequis_sec > 0
    THEN ROUND((@TempsBrut_sec*100.0)/@TempsRequis_sec, 0)
    ELSE 0 END;

-----
-- TauxQualite:
-- TauxQualite = (1 - (N_Sacs_Non_Conforme / N_Sacs_Total_Produit))*100.
-----

SET @TauxQualite = CASE WHEN @N_Sacs_Total_Produit > 0
    THEN ROUND((1 - (@N_Sacs_Non_Conforme*1.0/@N_Sacs_Total_Produit))*100, 0)
    ELSE 0 END;

-----
-- TRS:
-- TRS = (TauxQualite * TauxPerformance * TDT) / 10000.
-----

SET @TRS = ROUND((@TauxQualite * @TauxPerformance * @TDT)/10000.0, 0);

-----
-- TRG:
-- TRG = (TRS * TauxCharge) / 10000.
-----

SET @TRG = ROUND((@TRS * @TauxCharge)/10000.0, 0);

-----
-- TRE:
-- TRE = (TSE * TRS * TauxCharge) / 10000.

```

```

SQLQuery4.sql - DE...KG94C\rachid (53))* -> X SQLQuery3.sql - DE...KG94C\rachid (54))* DESKTOP-48KG94C\....KPIs_Maintenance

-- TRE:
-- TRE = (TSE * TRS * TauxCharge) / 10000.
-----
SET @TRE = ROUND((@TSE * @TRS * @TauxCharge)/10000.0, 0);

-----
-- Upsert the calculated KPIs into KPIs_Production using MERGE
-----
MERGE KPIs_Production AS target
USING (SELECT @Cycle AS Cycle) AS source
ON target.Cycle = source.Cycle
WHEN MATCHED THEN
    UPDATE SET
        TSE = @TSE,
        TauxCharge = @TauxCharge,
        TauxPerformance = @TauxPerformance,
        TDT = @TDT,
        TauxQualite = @TauxQualite,
        TRS = @TRS,
        TRG = @TRG,
        TRE = @TRE
WHEN NOT MATCHED THEN
    INSERT (Cycle, TSE, TauxCharge, TauxPerformance, TDT, TauxQualite, TRS, TRG, TRE)
    VALUES (@Cycle, @TSE, @TauxCharge, @TauxPerformance, @TDT, @TauxQualite, @TRS, @TRG, @TRE);

END TRY
BEGIN CATCH
    DECLARE @ErrMsg NVARCHAR(4000) = ERROR_MESSAGE();
    RAISERROR(@ErrMsg,16,1);
END CATCH

END
GO

```

Figure 35 : Requête SQL pour l'automatisation du calcul, de l'analyse et de la saisie des nouvelles données dans le tableau du KPIs de production

Ce système d'automatisation garantit que tous les KPIs de production sont calculés de manière cohérente et mis à jour en temps réel, fournissant une base solide et fiable pour l'analyse et la prise de décision.

4. Création et Automatisation du Calcul des paramètres diagramme de Pareto :

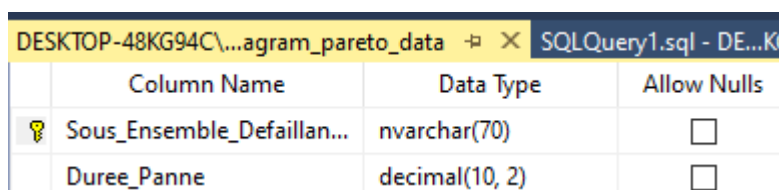
L'application du principe de Pareto est essentielle pour identifier les causes les plus impactantes des arrêts non planifiés et ainsi prioriser les actions d'amélioration. Pour ce faire, une préparation spécifique des données a été mise en œuvre directement dans la base de données SQL Server, avant leur consommation par le tableau de bord Power BI. Cette préparation s'est déroulée en deux étapes principales, impliquant la création de tables intermédiaires pour agréger et structurer les informations.

4.1. Structure de Tableau de données de diagramme de Pareto

L'efficacité d'une démarche d'amélioration continue repose sur la capacité à identifier et à prioriser les problèmes majeurs. Dans le contexte des arrêts non planifiés de la ligne d'ensachage, le Diagramme de Pareto est l'outil idéal pour cette analyse. Pour le construire, une préparation spécifique des données a été mise en œuvre directement dans la base de

données SQL Server, garantissant que les informations sont toujours à jour et correctement structurées pour la visualisation. Ce processus implique la création et l'automatisation de deux tables intermédiaires.

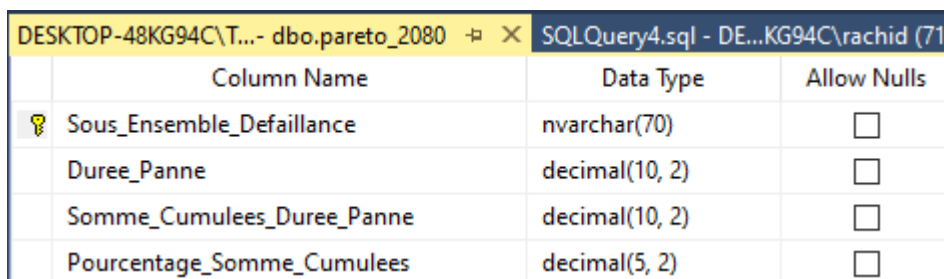
Afin de supporter l'analyse de Pareto, deux tables ont été conçues dans la base de données LigneEnsacheuse. La première, nommée `diagram_pareto_data`, sert de dépôt pour l'agrégation initiale des durées de panne par sous-ensemble de défaillance. Sa structure est simple mais efficace, comprenant une colonne `Sous_Ensemble_Defaillance` (de type `nvarchar(70)`) pour identifier la catégorie de la panne, et une colonne `Duree_Panne` (de type `decimal(10, 2)`) pour stocker la somme des durées d'arrêt, exprimée en heures décimales. Cette table est conçue pour être continuellement mise à jour avec les nouvelles données d'arrêts non planifiés.



| | Column Name | Data Type | Allow Nulls |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------|
| 🔑 | Sous_Ensemble_Defaillan... | nvarchar(70) | <input type="checkbox"/> |
| | Duree_Panne | decimal(10, 2) | <input type="checkbox"/> |

Figure 36 : tableau des données initiale de diagramme de Pareto

Le deuxième tableau des données, `pareto_2080`, est le résultat final de la préparation des données pour le diagramme de Pareto. Elle reprend les données de `diagram_pareto_data` et y ajoute des calculs essentiels. Sa structure inclut `Sous_Ensemble_Defaillance` et `Duree_Panne` (comme dans la première table), mais y ajoute `Somme_Cumulees_Duree_Panne` (de type `decimal`) pour la somme cumulative des durées, et `Pourcentage_Somme_Cumulees` (de type `decimal`) pour le pourcentage cumulé des durées totales de panne. Cette table est conçue pour être recalculée dynamiquement, assurant que l'ordre et les pourcentages sont toujours corrects pour l'analyse de Pareto.



| | Column Name | Data Type | Allow Nulls |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------|
| 🔑 | Sous_Ensemble_Defaillance | nvarchar(70) | <input type="checkbox"/> |
| | Duree_Panne | decimal(10, 2) | <input type="checkbox"/> |
| | Somme_Cumulees_Duree_Panne | decimal(10, 2) | <input type="checkbox"/> |
| | Pourcentage_Somme_Cumulees | decimal(5, 2) | <input type="checkbox"/> |

Figure 37 : tableau des données finale de diagramme de pareto

4.2. Logique et Automatisation du Calcul des Données de Pareto

L'automatisation de la mise à jour de ces tables est gérée par des déclencheurs (triggers) SQL, assurant que les données pour le diagramme de Pareto sont toujours à jour sans intervention manuelle.

Le premier déclencheur, `trg_UpdatePareto`, est défini sur la table `Arrets_Non_Planifier` et s'exécute AFTER INSERT. Son rôle est d'agréger les nouvelles entrées d'arrêts non planifiés dans la table `diagram_pareto_data`. La logique interne utilise une clause `WITH NewTotals AS (...)` pour calculer la somme des durées d'arrêt (converties en heures décimales) pour chaque `Sous_Ensemble_Defaillance` nouvellement inséré. Une instruction `MERGE` est ensuite employée pour soit mettre à jour la `Duree_Panne` existante dans `diagram_pareto_data` si le sous-ensemble existe déjà, soit insérer une nouvelle ligne si c'est une nouvelle catégorie de défaillance. Cela garantit que `diagram_pareto_data` reflète toujours la somme agrégée des durées de panne pour chaque sous-ensemble.

```
SQLQuery5.sql - DE...KG94C\rachid (54))*  X  DESKTOP-48KG94C\T...- dbo.pareto_2080
USE [LigneEnsacheuse ]
GO
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
ALTER TRIGGER [dbo].[trg_UpdatePareto]
ON [dbo].[Arrets_Non_Planifier]
AFTER INSERT
AS
BEGIN
    SET NOCOUNT ON;

    -- Aggregate newly inserted rows into hours
    WITH NewTotals AS
    (
        SELECT
            1.Sous_Ensemble_Defaillance,
            SUM(DATEDIFF(SECOND, 0, 1.Duree_Arret)) / 3600.0 AS AddedHours
        FROM inserted AS i
        GROUP BY 1.Sous_Ensemble_Defaillance
    )

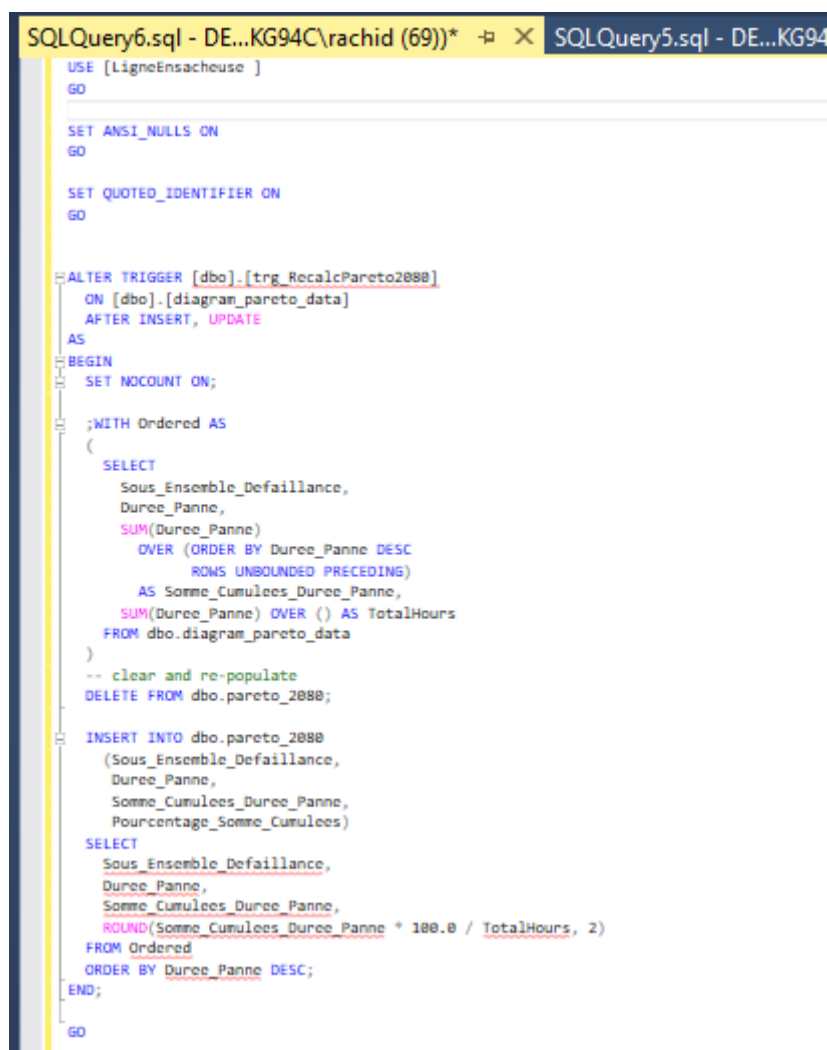
    MERGE dbo.diagram_pareto_data AS target
    USING NewTotals AS src
    ON target.Sous_Ensemble_Defaillance = src.Sous_Ensemble_Defaillance

    WHEN MATCHED THEN
        UPDATE
            SET target.Duree_Panne = target.Duree_Panne + src.AddedHours

    WHEN NOT MATCHED BY TARGET THEN
        INSERT (Sous_Ensemble_Defaillance, Duree_Panne)
        VALUES (src.Sous_Ensemble_Defaillance, src.AddedHours);
END;
GO
```

Figure 38 : SQL query pour l'automatisation de calcul des paramètres de tableau initiale de tableau des données de digramme pareto

Le second déclencheur, trg_RecalcPareto2080, est configuré sur la table diagram_pareto_data et s'active AFTER INSERT, UPDATE. Chaque fois que diagram_pareto_data est modifiée, ce trigger recalcule l'intégralité de la table pareto_2080. Il utilise une Common Table Expression (CTE) nommée Ordered pour trier les données par Duree_Panne en ordre décroissant. Des fonctions de fenêtre (SUM() OVER (...)) sont ensuite utilisées pour calculer la Somme_Cumulees_Duree_Panne (somme progressive) et la TotalHours (somme totale de toutes les pannes). La table pareto_2080 est d'abord vidée (DELETE FROM dbo.pareto_2080;) puis ré-alimentée avec les données fraîchement calculées, incluant le Pourcentage_Somme_Cumulees arrondi à deux décimales. Cette approche garantit que le diagramme de Pareto est toujours basé sur les données les plus récentes et correctement ordonnées pour une analyse pertinente.



```
USE [LigneEnsacheuse ]
GO

SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

ALTER TRIGGER [dbo].[trg_RecalcPareto2080]
ON [dbo].[diagram_pareto_data]
AFTER INSERT, UPDATE
AS
BEGIN
    SET NOCOUNT ON;

    ;WITH Ordered AS
    (
        SELECT
            Sous_Ensemble_Defaillance,
            Duree_Panne,
            SUM(Duree_Panne)
            OVER (ORDER BY Duree_Panne DESC
                  ROWS UNBOUNDED PRECEDING)
            AS Somme_Cumulees_Duree_Panne,
            SUM(Duree_Panne) OVER () AS TotalHours
        FROM dbo.diagram_pareto_data
    )
    -- clear and re-populate
    DELETE FROM dbo.pareto_2080;

    INSERT INTO dbo.pareto_2080
    (Sous_Ensemble_Defaillance,
      Duree_Panne,
      Somme_Cumulees_Duree_Panne,
      Pourcentage_Somme_Cumulees)
    SELECT
        Sous_Ensemble_Defaillance,
        Duree_Panne,
        Somme_Cumulees_Duree_Panne,
        ROUND(Somme_Cumulees_Duree_Panne * 100.0 / TotalHours, 2)
    FROM Ordered
    ORDER BY Duree_Panne DESC;
END;
GO
```

Figure 39 : SQL query pour l'automatisation de calcul des paramètres de tableau final de tableau des données de digramme Pareto

Cette préparation des données au niveau de la base de données assure que Power BI reçoit des informations déjà prêtes pour la visualisation du diagramme de Pareto, optimisant ainsi les performances du tableau de bord et garantissant la cohérence des analyses.

VI. Phase de Test de processus d'Analyse Préliminaire des Performances dans SQL Server :

Cette section est dédiée à la validation fonctionnelle du système de collecte, de transfert et d'automatisation des calculs d'indicateurs. Elle présente les résultats obtenus suite à l'intégration de données réelles sur une période de test, démontrant ainsi la capacité du système à transformer les données brutes en informations structurées et des indicateurs de performance exploitables.

Pour valider l'ensemble de la chaîne de valeur du programme, une phase de test a été mise en œuvre sur une période de quatre jours, du 17 au 20 juin. Ce test a permis de simuler le flux de données quotidien et de vérifier le bon fonctionnement de l'automatisation.

Le processus de test s'est déroulé comme suit :

- **Saisie Quotidienne :**

Chaque jour, les données de production et d'arrêts (planifiés et non planifiés) ont été scrupuleusement saisies à l'aide des formulaires Excel dédiés (Formulaire Arrêts Planifiés, Formulaire Arrêts Non Planifiés, Formulaire Sacs Produits).

| Arrets Non Planifiés | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------|-------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------|---|--------------------|------------------|----------------------|--------------------|-----------|
| Data Transfert to Database | | | | | | | | | | | | |
| date | Arret | | Mode de défaillance | | | | | Intervention | | Mise en Marche | Calcul des Durees | |
| Cycle | N_Arrêt | Temps_Arrêt | Ensemble_Defaillance | Sous_Ensemble_Defaillance | Composant_Defaillance | Defaillance | Commentaire | Debut_Intervention | Fin_Intervention | Temps_Mise_en_Marche | Duree_Intervention | Duree_Arr |
| 06/17/25 | 6 | 20:45:33 | Ensemble | Système support et transport du fi | Rouleau guide | Déraillement | Rouleau désaligné dans système transport fi | 20:55:42 | 21:18:17 | 21:23:56 | 00:22:35 | 00:38 |
| 06/17/25 | 5 | 19:15:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance de soudage défectueuse | 19:21:18 | 19:28:47 | 19:30:33 | 00:07:29 | 00:1 |
| 06/17/25 | 4 | 16:10:45 | Ensemble | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée sur moteur film | 16:16:12 | 16:55:38 | 17:05:22 | 00:33:26 | 00:54 |
| 06/17/25 | 3 | 13:25:18 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé sur vanne principale | 13:28:30 | 13:43:22 | 13:46:23 | 00:14:52 | 00:2 |
| 06/17/25 | 2 | 10:55:47 | Ensemble | Groupe perforé sac | Pince perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés dans mécanisme perforation | 11:01:33 | 11:16:18 | 11:17:05 | 00:14:45 | 00:2 |
| 06/17/25 | 1 | 09:30:14 | Ensemble | Trémie de réception | Capteur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 09:34:22 | 09:51:47 | 09:54:33 | 00:17:25 | 00:2v |
| 06/18/25 | 9 | 20:35:33 | Ensemble | Système support et transport du fi | Rouleau guide | Déraillement | Rouleau désaligné système transport film | 20:55:42 | 21:02:17 | 21:05:56 | 00:06:35 | 00:30 |
| 06/18/25 | 8 | 19:05:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:25:18 | 19:52:47 | 19:55:33 | 00:21:29 | 00:5 |
| 06/18/25 | 7 | 16:20:45 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vanne principale | 16:40:12 | 16:58:38 | 17:01:22 | 00:18:26 | 00:4C |
| 06/18/25 | 6 | 13:45:18 | Ensemble | Groupe perforé sac | Pince perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés mécanisme perforation | 14:05:30 | 14:32:15 | 14:33:05 | 00:26:45 | 00:41 |
| 06/18/25 | 5 | 12:25:47 | Ensemble | Trémie de réception | Capteur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 12:45:33 | 13:01:18 | 13:03:05 | 00:15:45 | 00:3 |
| 06/18/25 | 4 | 10:55:14 | Ensemble | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée moteur film | 11:15:22 | 11:27:47 | 11:30:33 | 00:12:25 | 00:3v |
| 06/18/25 | 3 | 13:30:07 | Ensemble | Bouche Assac a double clapet | Actionneur pneumatique | Panne pneumatique | Fuite d'air cylindre | 15:50:18 | 16:17:33 | 16:20:06 | 00:21:15 | 00:45 |
| 06/18/25 | 2 | 09:45:22 | Ensemble | Soudage fond du sac | Capteur température | Dérive mesure | Lecteur incohérente température | 10:05:30 | 10:32:15 | 10:33:12 | 00:26:45 | 00:41 |
| 06/18/25 | 1 | 18:45:33 | Ensemble | Système d'inhibition convoyeur | Capteur de présence | Panne capteur | Détection erronée palettes | 19:05:40 | 19:28:22 | 19:29:18 | 00:22:42 | 00:34 |
| 06/19/25 | 6 | 20:35:33 | Ensemble | Système support et transport du fi | Rouleau guide | Déraillement | Rouleau désaligné système transport film | 20:40:33 | 20:53:33 | 21:01:33 | 00:19:00 | 00:26 |
| 06/19/25 | 5 | 19:05:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:15:22 | 19:36:22 | 19:38:22 | 00:21:00 | 00:33 |
| 06/19/25 | 4 | 16:20:45 | Ensemble | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vanne principale | 16:50:45 | 17:01:45 | 17:06:45 | 00:11:00 | 00:46 |
| 06/19/25 | 3 | 13:45:18 | Ensemble | Groupe perforé sac | Pince perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés mécanisme perforation | 13:53:18 | 13:58:18 | 13:59:44 | 00:05:00 | 00:14 |
| 06/19/25 | 2 | 12:25:47 | Ensemble | Trémie de réception | Capteur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 12:51:47 | 12:56:47 | 12:57:47 | 00:25:00 | 00:32 |
| 06/19/25 | 1 | 10:55:14 | Ensemble | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée moteur film | 10:55:14 | 11:17:14 | 11:21:14 | 00:22:00 | 00:26 |
| 06/20/25 | 4 | 20:15:33 | Ensemble | Système support et transport du fi | Rouleau guide | Déraillement | Rouleau désaligné système transport film | 20:20:33 | 20:58:17 | 20:59:17 | 00:37:44 | 00:43 |
| 06/20/25 | 3 | 18:45:22 | Ensemble | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 18:56:22 | 19:32:47 | 19:37:47 | 00:36:25 | 00:52 |
| 06/20/25 | 2 | 15:20:07 | Ensemble | Bouche Assac a double clapet | Actionneur pneumatique | Panne pneumatique | Fuite d'air cylindre | 15:27:07 | 15:42:33 | 15:50:33 | 00:15:26 | 00:30 |
| 06/20/25 | 1 | 19:05:33 | Ensemble | Système d'inhibition convoyeur | Capteur de présence | Panne capteur | Détection erronée palettes | 19:16:33 | 19:48:22 | 19:49:22 | 00:31:43 | 00:43 |

Figure 40 : Données collectées pour les arrêts non planifiés du 17 au 20 juin

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|--------------------------|--------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | Arret Planifier | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | N_Arret_Planifier | Cycle | Debut_Arret_Planifier | Fin_Arret_Planifier | Categorie_Arret_Planifier | Type_Arret_Planifier | Commentaire | Duree_Arret_Planifier |
| 9 | 6 | 06/17/25 | 21:46:56 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin de chift | 00:13: |
| 10 | 5 | 06/17/25 | 17:23:56 | 18:03:08 | Operations | Nettoyage approfondi | | 00:39: |
| 11 | 4 | 06/17/25 | 14:02:45 | 14:30:23 | Operations | Arrêts de production | pause changement de chift | 00:27: |
| 12 | 3 | 06/17/25 | 12:00:56 | 12:31:56 | Operations | Arrêts de production | pause dejourne | 00:31: |
| 13 | 2 | 06/17/25 | 07:01:23 | 09:11:09 | Maintenance | Maintenance préventive | | 02:09: |
| 14 | 1 | 06/17/25 | 06:00:00 | 06:31:23 | Operations | Arrêts de production | debut de chift | 00:31: |
| 15 | 5 | 06/18/25 | 21:45:56 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin de chift | 00:14: |
| 16 | 4 | 06/18/25 | 17:03:39 | 17:40:47 | Operations | Arrêts de production | pause | 00:37: |
| 17 | 3 | 06/18/25 | 14:32:26 | 15:56:18 | Operations | Nettoyage approfondi | Nettoyage post-production | 01:23: |
| 18 | 2 | 06/18/25 | 07:05:52 | 08:03:37 | Maintenance | Maintenance préventive | Contrôle sécurité | 00:57: |
| 19 | 1 | 06/18/25 | 06:00:00 | 07:05:52 | Operations | Arrêts de production | Mise en service quotidienne | 01:05: |
| 20 | 3 | 06/19/25 | 21:47:00 | 22:00:00 | Operations | Arrêts de production | Fin chift | 00:13: |
| 21 | 2 | 06/19/25 | 13:40:39 | 14:11:17 | Maintenance | Arrêts de production | pause changement de chift | 00:30: |
| 22 | 1 | 06/19/25 | 06:00:00 | 07:13:39 | Operations | Arrêts de production | debut chift | 01:13: |
| 23 | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | |

Figure 41 : Données collectées pour les arrêts planifiés du 17 au 20 juin

| | C | D | E | F | G |
|--|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Sacs produits | | | | |
| | Data Transfert To Database | | | | Data Clean for all sheet |
| | Cycle | Sacs | | Palettes | |
| | Cycle | N_Sacs_Total_Produit | N_Sacs_Non_Conforme | N_Palettes_Total_Produit | N_Palettes_Non_Conforme |
| | 17/06/2025 | 11960 | 109 | 299 | |
| | 18/06/2025 | 6893 | 177 | 172 | |
| | 19/06/2025 | 14566 | 267 | 364 | |
| | 20/06/2025 | 10780 | 352 | 269 | |

Figure 42 : Données collectées pour les sacs produits du 17 au 20 juin

- **Transfert Automatisé :**

La fonctionnalité de transfert des données vers la base de données SQL Server Express a été activée quotidiennement via les macros VBA intégrées dans les formulaires Excel. Ces macros ont assuré l'insertion des données brutes dans les tables sources (Arrets_Planifier, Arrets_Non_Planifier, Sacs_Produit).

SQLQuery9.sql - DE...KG94C\rachid (53)

Execute

Results Messages

| | Cycle | N_Arret | Temps_Arret | Ensemble_Defallance | Sous_Ensemble_Defallance | Composant_Defallance | Defallance | Commentaire | Debut_Intervention | Fin_Inter |
|----|------------|---------|------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------|---|--------------------|-----------|
| 1 | 2025-06-17 | 6 | 20:45:33.0000000 | hausseuse | Système support et transport du film | Rouleau guide | Désalignement | Rouleau désaligné dans système transport film | 20:55:42.0000000 | 21:18:17 |
| 2 | 2025-06-17 | 5 | 19:15:22.0000000 | Ensacheuse | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance de soudage défectueuse | 19:21:18.0000000 | 19:28:47 |
| 3 | 2025-06-17 | 4 | 16:10:45.0000000 | hausseuse | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée sur moteur film | 16:16:12.0000000 | 16:55:38 |
| 4 | 2025-06-17 | 3 | 13:25:18.0000000 | Ensacheuse | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé sur vanne principale | 13:28:30.0000000 | 13:43:25 |
| 5 | 2025-06-17 | 2 | 10:55:47.0000000 | Ensacheuse | Groupe perforé sac | Pince perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés dans mécanisme perforation | 11:01:33.0000000 | 11:16:18 |
| 6 | 2025-06-17 | 1 | 09:30:14.0000000 | Ensacheuse | Trémie de réception | Capteur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 09:34:22.0000000 | 09:51:47 |
| 7 | 2025-06-18 | 9 | 20:35:33.0000000 | hausseuse | Système support et transport du film | Rouleau guide | Désalignement | Rouleau désaligné système transport film | 20:55:42.0000000 | 21:02:17 |
| 8 | 2025-06-18 | 8 | 19:05:22.0000000 | Ensacheuse | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:25:18.0000000 | 19:52:47 |
| 9 | 2025-06-18 | 7 | 16:20:45.0000000 | Ensacheuse | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vanne principale | 16:40:12.0000000 | 16:58:38 |
| 10 | 2025-06-18 | 6 | 13:45:18.0000000 | Ensacheuse | Groupe perforé sac | Pince perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés mécanisme perforation | 14:05:30.0000000 | 14:32:19 |
| 11 | 2025-06-18 | 5 | 12:25:47.0000000 | Ensacheuse | Trémie de réception | Capteur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 12:45:33.0000000 | 13:01:18 |
| 12 | 2025-06-18 | 4 | 10:55:14.0000000 | hausseuse | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée moteur film | 11:15:22.0000000 | 11:27:47 |
| 13 | 2025-06-18 | 3 | 15:30:07.0000000 | Ensacheuse | Bouche Assac a double clapet | Actionneur pneumatique... | Panne pneumatique | Fuite d'air cylindre | 15:50:18.0000000 | 16:17:38 |
| 14 | 2025-06-18 | 2 | 09:45:22.0000000 | Ensacheuse | Soudage fond du sac | Capteur température | Dérive mesure | Lecture incohérente température | 10:05:30.0000000 | 10:32:19 |
| 15 | 2025-06-18 | 1 | 18:45:33.0000000 | hausseuse | Système d'inhibition convoyeur | Capteur de présence | Panne capteur | Détection erronée palettes | 19:05:40.0000000 | 19:28:25 |
| 16 | 2025-06-19 | 6 | 20:35:33.0000000 | hausseuse | Système support et transport du film | Rouleau guide | Désalignement | Rouleau désaligné système transport film | 20:40:33.0000000 | 20:59:38 |
| 17 | 2025-06-19 | 5 | 19:05:22.0000000 | Ensacheuse | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 19:15:22.0000000 | 19:36:25 |
| 18 | 2025-06-19 | 4 | 16:20:45.0000000 | Ensacheuse | Circuit de conduite hydraulique | Vanne hydraulique | Fuite hydraulique | Joint endommagé vanne principale | 16:50:45.0000000 | 17:01:48 |
| 19 | 2025-06-19 | 3 | 13:45:18.0000000 | Ensacheuse | Groupe perforé sac | Pince perforatrice | Blocage mécanique | Sacs collés mécanisme perforation | 13:53:18.0000000 | 13:58:18 |
| 20 | 2025-06-19 | 2 | 12:25:47.0000000 | Ensacheuse | Trémie de réception | Capteur de niveau | Panne capteur | Dérive mesure niveau produit | 12:31:47.0000000 | 12:56:47 |
| 21 | 2025-06-19 | 1 | 10:55:14.0000000 | hausseuse | Système d'ouverture du film | Moteur d'entraînement | Surchauffe | Ventilation obstruée moteur film | 10:55:14.0000000 | 11:17:14 |
| 22 | 2025-06-20 | 4 | 20:15:33.0000000 | hausseuse | Système support et transport du film | Rouleau guide | Désalignement | Rouleau désaligné système transport film | 20:20:33.0000000 | 20:58:17 |
| 23 | 2025-06-20 | 3 | 18:45:22.0000000 | Ensacheuse | Dispositif de soudage | Élément chauffant | Panne thermique | Résistance soudage défectueuse | 18:56:22.0000000 | 19:32:47 |
| 24 | 2025-06-20 | 2 | 15:20:07.0000000 | Ensacheuse | Bouche Assac a double clapet | Actionneur pneumatique... | Panne pneumatique | Fuite d'air cylindre | 15:27:07.0000000 | 15:42:38 |

Query executed successfully.

DESKTOP-48KG94C\TEW_SQLXPR... DESKTOP-48KG94C\rachid... LigneEnsacheuse 00:00:00 25 rows

Ln 1Col 1INS

Figure 43 : données Arrêts non planifiés après migration vers tableau de données à SQL Server

SQLQuery10.sql - D...KG94C\rachid (54)

SQLQuery9.sql - DE...KG94C\rachid (53)

SELECT TOP (1000) [N_Arret_Planifier]

[Cycle]

[Debut_Arret_Planifier]

[Fin_Arret_Planifier]

[Categorie_Arret_Planifier]

[Type_Arret_Planifier]

[Commentaire]

100 %

Results

Messages

| | N_Arret_Planifier | Cycle | Debut_Arret_Planifier | Fin_Arret_Planifier | Categorie_Arret_Planifier | Type_Arret_Planifier | Commentaire | Duree_Arret_Planifier |
|----|-------------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | 6 | 2025-06-17 | 21:46:56.0000000 | 22:00:00.0000000 | Operations | Arêts de production | Fin de chift | 00:13:04.0000000 |
| 2 | 5 | 2025-06-17 | 17:23:56.0000000 | 18:03:08.0000000 | Operations | Nettoyage approfondi | NULL | 00:39:12.0000000 |
| 3 | 4 | 2025-06-17 | 14:02:45.0000000 | 14:30:23.0000000 | Operations | Arêts de production | pause changement de chift | 00:27:38.0000000 |
| 4 | 3 | 2025-06-17 | 12:00:56.0000000 | 12:31:56.0000000 | Operations | Arêts de production | pause dejeuner | 00:31:00.0000000 |
| 5 | 2 | 2025-06-17 | 07:01:23.0000000 | 09:11:09.0000000 | Maintenance | Maintenance préventive | NULL | 02:09:46.0000000 |
| 6 | 1 | 2025-06-17 | 06:00:00.0000000 | 06:31:23.0000000 | Operations | Arêts de production | debut de chift | 00:31:23.0000000 |
| 7 | 5 | 2025-06-18 | 21:45:56.0000000 | 22:00:00.0000000 | Operations | Arêts de production | Fin de chift | 00:14:04.0000000 |
| 8 | 4 | 2025-06-18 | 17:03:39.0000000 | 17:40:47.0000000 | Operations | Arêts de production | pause | 00:37:08.0000000 |
| 9 | 3 | 2025-06-18 | 14:32:26.0000000 | 15:56:18.0000000 | Operations | Nettoyage approfondi | Nettoyage post-production | 01:23:52.0000000 |
| 10 | 2 | 2025-06-18 | 07:05:52.0000000 | 08:03:37.0000000 | Maintenance | Maintenance préventive | Contrôle sécurité | 00:57:45.0000000 |
| 11 | 1 | 2025-06-18 | 06:00:00.0000000 | 07:05:52.0000000 | Operations | Arêts de production | Mise en service quotidienne | 01:05:52.0000000 |
| 12 | 3 | 2025-06-19 | 21:47:00.0000000 | 22:00:00.0000000 | Operations | Arêts de production | Fin chift | 00:13:00.0000000 |
| 13 | 2 | 2025-06-19 | 13:40:39.0000000 | 14:11:17.0000000 | Maintenance | Arêts de production | pause changement de chift | 00:30:38.0000000 |
| 14 | 1 | 2025-06-19 | 06:00:00.0000000 | 07:13:39.0000000 | Operations | Arêts de production | debut chift | 01:13:39.0000000 |
| 15 | 4 | 2025-06-20 | 21:34:00.0000000 | 22:00:00.0000000 | Operations | Arêts de production | Fin chift | 00:26:00.0000000 |
| 16 | 5 | 2025-06-20 | 17:03:39.0000000 | 18:27:47.0000000 | Operations | Arêts de production | pause | 01:24:08.0000000 |
| 17 | 3 | 2025-06-20 | 13:40:39.0000000 | 14:11:17.0000000 | Maintenance | Arêts de production | pause changement de chift | 00:30:38.0000000 |
| 18 | 2 | 2025-06-20 | 06:45:39.0000000 | 09:15:42.0000000 | Maintenance | Maintenance préventive | Vérification hebdomadaire | 02:30:03.0000000 |
| 19 | 1 | 2025-06-20 | 06:00:00.0000000 | 06:45:39.0000000 | Operations | Arêts de production | debut chift | 00:45:39.0000000 |

Figure 44 : données Arrêts planifiés après migration vers tableau de données à SQL Server

SQLQuery11.sql - D:\...KG94C\rachid (62))

```

SELECT TOP (1000) [Cycle]
, [N_Sacs_Total_Produit]
, [N_Sacs_Non_Conforme]
, [N_Palettes_Total_Produit]
, [N_Palettes_Non_Conforme]
FROM [LigneEnsacheuse].[dbo].[Sacs_Produit]

```

100 %

Results Messages

| | Cycle | N_Sacs_Total_Produit | N_Sacs_Non_Conforme | N_Palettes_Total_Produit | N_Palettes_Non_Conforme |
|---|------------|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 2025-06-17 | 11960 | 109 | 299 | 13 |
| 2 | 2025-06-18 | 6893 | 177 | 172 | 6 |
| 3 | 2025-06-19 | 14566 | 267 | 364 | 25 |
| 4 | 2025-06-20 | 10780 | 352 | 269 | 19 |

Figure 45 : données Sacs Produits après migration vers tableau de données à SQL Server

- **Calcul Automatisé des Indicateurs :** Suite à l'insertion des données brutes, les procédures SQL automatisées (triggers et procédures stockées), détaillées dans la section V, se sont déclenchées instantanément. Elles ont exécuté les calculs complexes pour consolider les données et générer les indicateurs de performance dans les tables cibles : Cycle_Production, KPIs_Production et KPIs_Maintenance.

Ce test a confirmé que le système est opérationnel, que les données sont transférées correctement et que les indicateurs sont calculés de manière autonome et fiable. Les données calculées sont désormais prêtes pour une analyse approfondie et une visualisation dynamique via des outils de Business Intelligence comme Power BI.

1. Calcul et Analyse des Temps de Cycle de Production

Cette sous-section présente les résultats des calculs automatisés pour les temps de cycle de production, tels qu'enregistrés dans la table Cycle_Production pour la période du 17 au 20 juin.

1.1. Résultats d'analyse sur Tableau des données du temps de cycle de production :

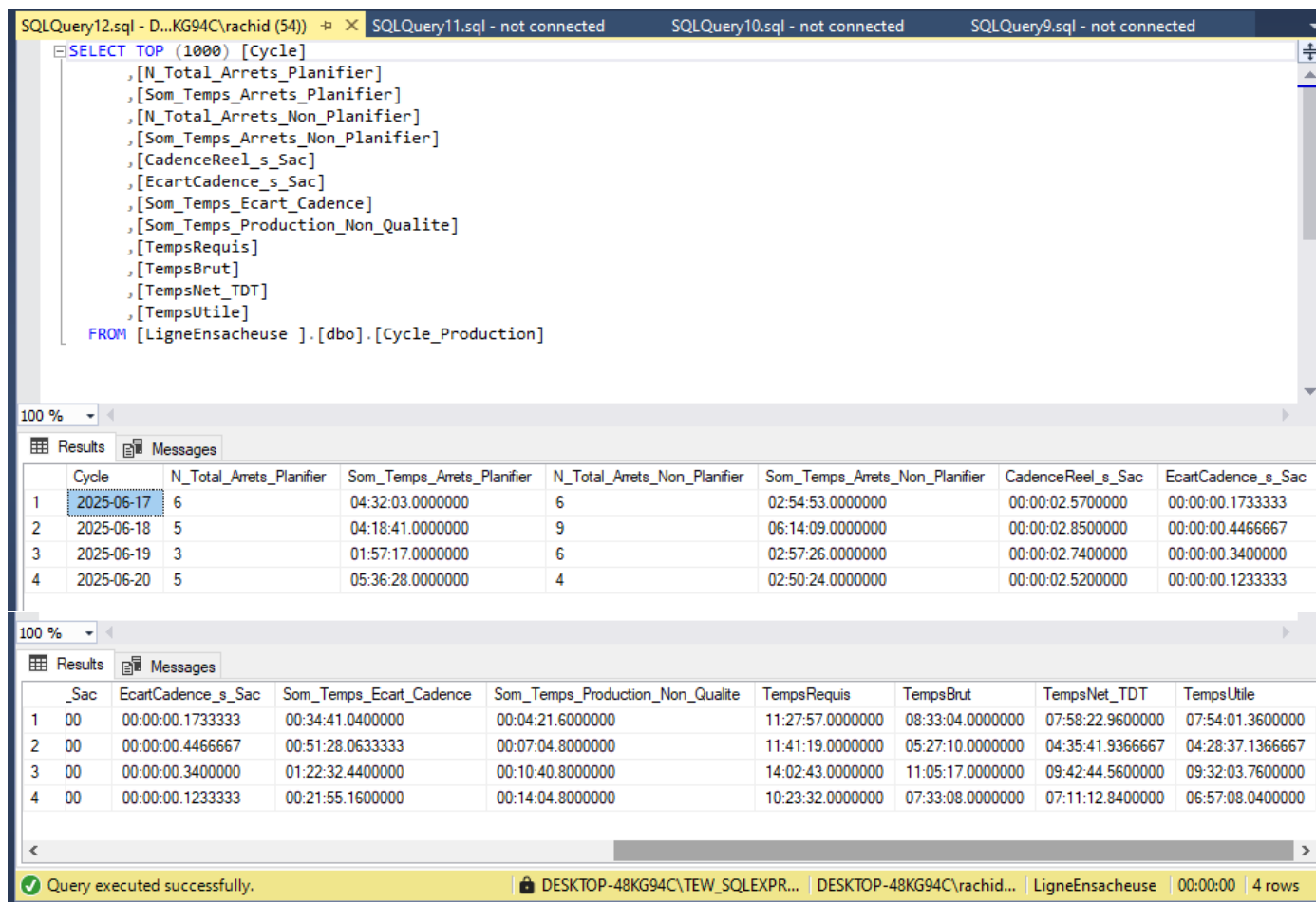


Figure 46 : Résultats d'analyse sur Tableau des données du temps de cycle de production

1.2. Interprétation des Résultats des Calculs des Temps de Cycle de Production

L'analyse des données calculées et agrégées dans la table Cycle_Production pour la période du 17 au 20 juin révèle des dynamiques importantes concernant l'utilisation du temps de la ligne d'ensachage.

On observe que le **Temps Utile (TU)**, représentant la durée de production conforme, varie significativement, passant par exemple de **04:28:13** le 17 juin à **07:57:08** le 20 juin. Cette fluctuation est le reflet des différentes catégories de pertes.

Les **Arrêts Planifiés** (N_Total_Arrets_Planifier et Som_Temps_Arrets_Planifier) montrent une gestion quotidienne active, avec une somme de temps d'arrêts planifiés notable, influençant directement le **Temps Requis**.

Les **Arrêts Non Planifiés** (N_Total_Arrets_Non_Planifier et Som_Temps_Arrets_Non_Planifier) impactent le **Temps Brut**, avec des durées et fréquences variables.

La **Cadence Réelle (CadenceReal_s_Sac)**, bien que fluctuante, permet de déterminer un **Écart de Cadence (EcartCadence_s_Sac)**, qui, agrégé en **Som_Temps_Ecart_Cadence**, révèle le temps perdu dû à une production sous-optimale.

Enfin, la **Som_Temps_Production_Non_Qualite** met en évidence le temps non productif lié aux rejets. Ces chiffres validés confirment que le système est capable de décomposer le temps de cycle avec précision, fournissant une base solide pour identifier les principaux leviers d'amélioration de l'efficacité opérationnelle de la ligne.

2. Calcul des Indicateurs de Performance (KPIs) de Production

2.1. Résultats d’analyse sur Tableau des données des KPIs de Production

Cette sous-section détaille les KPIs de production calculés automatiquement par le système et stockés dans la table **KPIs_Production** sur la période de test.

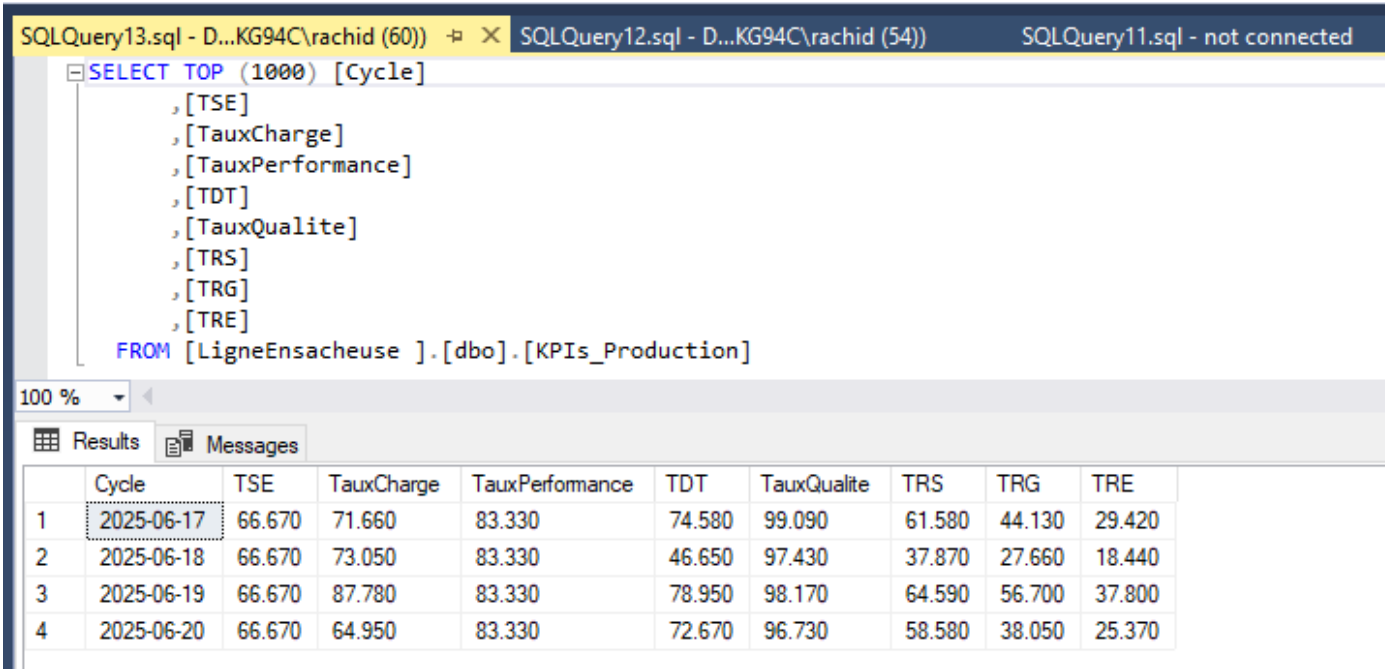


Figure 47 : Résultats d’analyse sur Tableau des données des KPIs de Production

2.2. Interprétation des Résultats des Indicateurs de Performance (KPIs) de Production

L'analyse de la table **KPIs_Production** pour la période du 17 au 20 juin 2025 fournit des insights précieux sur l'efficacité de la ligne d'ensachage.

Le **Taux Stratégique d'Engagement (TSE)** demeure constant à **66.670%**, ce qui est attendu car il reflète un ratio fixe du temps d'ouverture de l'entreprise par rapport à la durée totale du cycle (journée complète).

Le **Taux de Charge (TauxCharge)** présente des fluctuations, allant de **61.660%** le 17 juin à **71.660%** le 19 juin. Ces variations indiquent des différences dans le temps pendant lequel la ligne est requise pour produire, influencées par les arrêts planifiés.

Le **Taux de Performance (TauxPerformance)** se maintient uniformément à **83.330%** sur toute la période, suggérant une cadence réelle de production relativement stable par rapport à la cadence nominale.

Le **Taux de Disponibilité Technique (TDT)** montre une forte variabilité, avec un pic à **78.950%** le 19 juin et un point bas à **46.650%** le 18 juin. Cette fluctuation met en lumière l'impact des arrêts non planifiés et des défaillances sur le temps brut disponible pour la production.

Le **Taux de Qualité (TauxQualite)** reste élevé, oscillant entre **96.730%** et **99.090%**, ce qui indique une très bonne conformité des sacs produits et un faible taux de rebuts.

Enfin, les indicateurs synthétiques comme le **TRS (Taux de Rendement Synthétique)**, le **TRG (Taux de Rendement Global)** et le **TRE (Taux de Rendement Économique)** reflètent la performance globale de la ligne. Le **TRS** varie de **37.870%** à **64.590%**, le **TRG** de **27.660%** à **56.700%**, et le **TRE** de **18.440%** à **37.800%**. Ces variations importantes sur la période de test soulignent que l'optimisation des temps d'arrêt (planifiés et non planifiés) et l'amélioration de la stabilité de la cadence sont des axes clés pour maximiser la performance globale et la rentabilité de la ligne d'ensachage.

3. Calcul des Indicateurs de Performance (KPIs) de Maintenance :

cette sous-section présente les résultats des KPIs de maintenance, calculés de manière automatisée et disponibles dans la table KPIs_Maintenance pour la période de test.

3.1. Résultats d'analyse sur Tableau des données des KPIs de Maintenance

SQLQuery14.sql - D...KG94C\rachid (64)) X SQLQuery13.sql - D...KG94C\rachid (60)) SQLQuery12.sql - D...KG94C\rachid (54))

```

SELECT TOP (1000) [Cycle]
, [MTBF]
, [MTTR]
, [TauxDefaillance]
, [TauxReparation]
, [TMP]
, [TauxReactivite]
FROM [LigneEnsacheuse].[dbo].[KPIs_Maintenance]

```

100 %

Results Messages

| | Cycle | MTBF | MTTR | TauxDefaillance | TauxReparation | TMP | TauxReactivite |
|---|------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|---------|----------------|
| 1 | 2025-06-17 | 01:25:30.0000000 | 00:29:08.0000000 | 0.7018 | 2.0595 | 52.6864 | 33.3651 |
| 2 | 2025-06-18 | 00:36:21.0000000 | 00:41:34.0000000 | 1.6506 | 1.4435 | 23.8768 | 50.7907 |
| 3 | 2025-06-19 | 01:50:52.0000000 | 00:29:34.0000000 | 0.5412 | 2.0293 | 22.9234 | 41.9500 |
| 4 | 2025-06-20 | 01:53:17.0000000 | 00:42:36.0000000 | 0.5296 | 1.4085 | 59.8124 | 28.7559 |

Figure 48 : Résultats d'analyse sur Tableau des données des KPIs de Maintenance

3.2. Interprétation des Résultats des Indicateurs de Performance (KPIs) de Maintenance

L'examen des données de la table `KPIs_Maintenance` pour la période du 17 au 20 juin 2025 offre un aperçu critique de la fiabilité et de l'efficacité de la maintenance de la ligne d'ensilage.

Le **Temps Moyen Entre les Défaillances (MTBF)**, qui mesure la fiabilité des équipements, présente une variabilité notable. Il passe de **01:25:30** le 17 juin à un pic de **01:50:52** le 19 juin, avant de redescendre légèrement. Un MTBF plus élevé indique une meilleure fiabilité.

Le **Temps Moyen de Réparation (MTTR)**, qui évalue l'efficacité des interventions de maintenance, montre également des fluctuations. Le 17 juin, le MTTR est de **00:29:08**, augmentant à **00:41:34** le 18 juin, et à **00:42:36** le 20 juin. Un MTTR plus faible est souhaitable, indiquant des réparations plus rapides.

Ces tendances se reflètent dans les taux associés :

- Le **Taux de Défaillance (TauxDefaillance)**, inverse du MTBF, est le plus bas le 19 juin (**0.5412**), correspondant au MTBF le plus élevé.
- Le **Taux de Réparation (TauxReparation)**, inverse du MTTR, est le plus faible le 20 juin (**1.4085**), correspondant à un MTTR plus élevé.

Le **TMP (Taux de Maintien Préventif)**, qui évalue l'efficacité de la maintenance préventive par rapport aux interventions totales, montre une grande fluctuation, allant de **22.9234%** le 19 juin à **59.8124%** le 20 juin. Ces variations suggèrent une planification ou une exécution

inégalité des activités de maintenance préventive ou une dépendance à la fréquence des pannes.

Enfin, le **Taux de Réactivité (TauxReactivite)**, qui mesure la rapidité à laquelle les équipes interviennent après une défaillance, varie de **28.7559%** à **50.7907%**. Un taux plus élevé est préférable, indiquant une meilleure réactivité.

En somme, ces KPIs de maintenance, calculés automatiquement, fournissent des points de données essentiels pour évaluer la santé des équipements et l'efficacité des stratégies de maintenance. Les variations observées sur cette courte période de test soulignent l'importance d'un suivi continu pour identifier les causes profondes des défaillances et optimiser les temps d'intervention, contribuant ainsi à l'amélioration de la disponibilité et de la fiabilité de la ligne d'ensachage.

4. Calcul des paramètres de diagramme de Pareto :

Enfin, cette sous-section présente les résultats des paramètres de diagramme de Pareto, calculés de manière automatisée et disponibles dans le tableau `diagramme_pareto_data` et le tableau de données finale `Pareto2080` pour la période de test.

4.1. Résultats d'analyse sur Tableau des données de diagramme de Pareto :

| Results Messages | | |
|------------------|----------------------------------|-------------|
| | Sous_Ensemble_Defaillance | Duree_Panne |
| 1 | Corps robot | 1.48 |
| 2 | Ensemble de coupe et soudure | 2.62 |
| 3 | Groupe d'ouverture de sac | 5.61 |
| 4 | Main Robot | 0.94 |
| 5 | Soudage fond du sac | 0.85 |
| 6 | Système d'ouverture du film | 4.70 |
| 7 | Tapis rouleaux métalliques B.600 | 1.83 |
| 8 | trémie de réception | 2.47 |

Figure 49 : Résultats d'analyse sur Tableau des données initiale de diagramme de Pareto

| Results | | Messages | | |
|---------|----------------------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| | Sous_Ensemble_Defaillance | Duree_Panne | Somme_Cumulees_Duree_Panne | Pourcentage_Somme_Cumulees |
| 1 | Groupe d'ouverture de sac | 5.61 | 5.61 | 27.37 |
| 2 | Système d'ouverture du film | 4.70 | 10.31 | 50.29 |
| 3 | Ensemble de coupe et soudure | 2.62 | 12.93 | 63.07 |
| 4 | trémie de réception | 2.47 | 15.40 | 75.12 |
| 5 | Tapis rouleaux métalliques B.600 | 1.83 | 17.23 | 84.05 |
| 6 | Corps robot | 1.48 | 18.71 | 91.27 |
| 7 | Main Robot | 0.94 | 19.65 | 95.85 |
| 8 | Soudage fond du sac | 0.85 | 20.50 | 100.00 |

Figure 50 : Résultats d'analyse sur Tableau des données finale de diagramme de Pareto

4.2. Interprétation des résultats :

L'analyse du Diagramme de Pareto, alimentée par les données précisément agrégées et cumulées, est un levier essentiel pour orienter les efforts d'amélioration vers les problèmes les plus impactant. L'examen des résultats de la table `pareto_2080` (dont un aperçu est fourni) révèle clairement les contributeurs majeurs aux temps d'arrêt non planifiés de la ligne d'ensachage.

Conformément au principe de Pareto, une minorité de causes est responsable d'une majorité des effets. Ici, le **"Groupe d'ouverture de sac"** se positionne comme la cause principale, représentant 5.61 unités de durée de panne, soit 27.37% de la durée totale des arrêts. Juste après, le **"Système d'ouverture du film"** contribue à 4.70 unités de panne, portant le cumul à 10.31 unités et à 50.29% du total. Ces deux sous-ensembles combinés représentent déjà plus de la moitié des pertes de temps.

En étendant l'analyse, l'ajout de l'**"Ensemble de coupe et soudure"** (2.62 unités) et de la **"Trémie de réception"** (2.47 unités) fait grimper la somme cumulée des durées de panne à 15.40 unités, atteignant ainsi 75.12% du total. Cela signifie que seulement quatre catégories de défaillances sont responsables de plus des trois quarts des arrêts non planifiés. Si l'on inclut le **"Tapis rouleaux métalliques B.600"** (1.83 unités), le cumul atteint 17.23 unités, soit 84.05% de la durée totale de panne.

Cette distribution confirme le principe 80/20 : en se concentrant sur les cinq premières causes de défaillance (Groupe d'ouverture de sac, Système d'ouverture du film, Ensemble de coupe et soudure, Trémie de réception, et Tapis rouleaux métalliques B.600), il est possible de résoudre plus de 80% des problèmes liés aux arrêts non planifiés. Cette hiérarchisation est cruciale pour allouer les ressources de maintenance et d'ingénierie de manière stratégique, maximisant l'impact des actions correctives et préventives sur la disponibilité globale de la ligne.

VII. Mise en place d'une sauvegarde automatisée de base de données sur Cloud

1. Contexte et objectifs

Dans le cadre du projet de collecte de données de la ligne d'ensachage du groupe OCP, il est apparu essentiel d'assurer la sécurité, la durabilité et la disponibilité des données enregistrées dans une base SQL Server Express. Ces données, saisies quotidiennement par les opérateurs, incluent les arrêts, pannes, performances de production, quantités de sacs produits, et temps de cycle.

L'objectif de cette section est de documenter la mise en place d'une **sauvegarde automatisée de la base de données** vers le Cloud (Google Drive), de manière **quotidienne, sécurisée et sans intervention humaine**. Ce mécanisme vise à prévenir la perte des données critiques en cas de panne système ou défaillance locale.

2. Analyse des besoins :

Les besoins identifiés pour cette solution incluent la mise en place d'une sauvegarde automatique quotidienne de la base LigneEnsacheuse dans SQL Server Express, générant un unique fichier .bak actualisé chaque jour sans duplication. Ce fichier sera ensuite synchronisé automatiquement vers Google Drive via Google Drive pour Desktop. La solution doit également permettre une restauration directe depuis SSMS en cas de perte ou corruption des données, tout en fonctionnant de manière autonome, y compris lorsque l'utilisateur n'est pas connecté. Enfin, une gestion des permissions sera nécessaire pour autoriser SQL Server à écrire dans le répertoire de sauvegarde.

| Élément | Détail technique |
|---|--|
| Système d'exploitation | Windows 10 |
| Instance SQL Server | DESKTOP-48KG94C\TEW_SQLEXPRESS |
| Outil de gestion | SQL Server Management Studio (SSMS) |
| Dossier local synchronisé | C:\Users\OCPGroup\Documents\LigneEnsacheuseDB |
| Nom du fichier de sauvegarde | LigneEnsacheuse_Daily.bak |
| Outil Cloud | Google Drive pour Desktop |
| Script | Fichier .bat utilisant sqlcmd |
| Planification | Exécution quotidienne via Task Scheduler à 10h |
| Tableau 9 : Tableau des besoins technique | |

3. Mise en œuvre de l'automatisation du processus

Afin de répondre à ces besoins, la stratégie adoptée a consisté à créer un processus en trois phases : création du dossier de sauvegarde, écriture d'un script batch, et automatisation via le Planificateur de tâches Windows.

Un dossier local synchronisé avec Google Drive (C:\GoogleDrive\LigneEnsacheuseDB) a été configuré. Ce répertoire a été validé comme **accessible en écriture** par le service SQL Server. Un script .bat a ensuite été développé pour effectuer la sauvegarde automatiquement à l'aide de sqlcmd.

```
bat
@echo off
set SERVER=DESKTOP-48KG94C\TEW_SQLEXPRESS
set DATABASE=LigneEnsacheuse
set BACKUPFOLDER=C:\GoogleDrive\LigneEnsacheuseDB
set BACKUPFILE=%BACKUPFOLDER%\%DATABASE%_daily.bak

echo =====
echo Backing up database: %DATABASE%
echo Server: %SERVER%
echo Backup file: %BACKUPFILE%
echo Time: %DATE% %TIME%
echo =====

sqlcmd -S "%SERVER%" -Q "BACKUP DATABASE [%DATABASE%] TO DISK =
N'%BACKUPFILE%' WITH INIT, FORMAT"

echo Backup completed.
pause
```

Figure 51 : Script de fichier .bat

4. Automatisation via le Planificateur de tâches

Pour garantir l'exécution automatique du script chaque jour à 10h, le **Planificateur de tâches Windows** a été utilisé.

| | |
|--|--|
| Nom de la tâche | Daily LigneEnsacheuse Backup |
| Déclencheur | quotidien à 10 :00 |
| Action | Exécution du fichier LigneEnsacheuseBackUpDaily.bat |
| Tableau 10 : Paramètres définis dans le Planificateur de tâches | |

La solution propose des paramètres avancés pour assurer son bon fonctionnement dans différents scénarios. Elle est configurée pour s'exécuter automatiquement, même si l'utilisateur n'est pas connecté à sa session. De plus, elle fonctionne avec les privilèges les plus élevés afin d'autoriser toutes les opérations système nécessaires. Ces réglages ont été optimisés spécifiquement pour un environnement Windows 10, garantissant ainsi une compatibilité et des performances optimales.

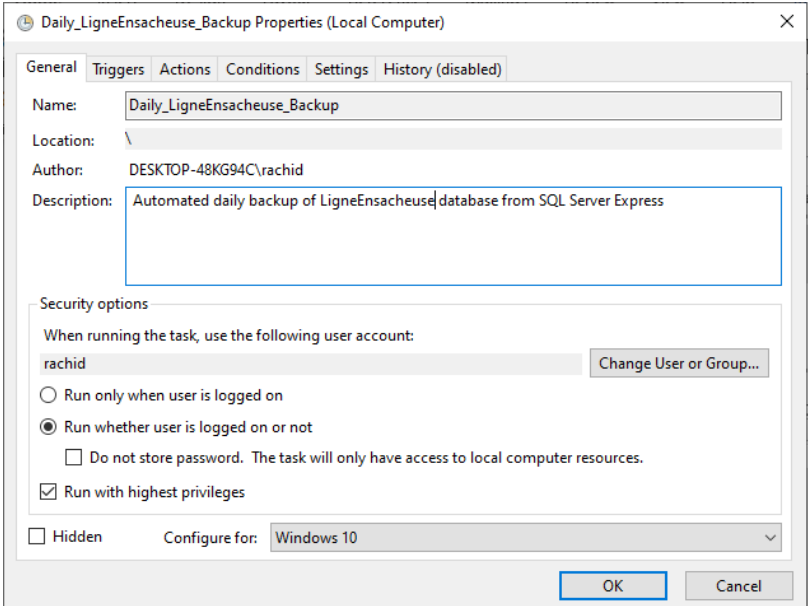



Figure 52 : Création de la tâche dans Task Scheduler

5. Compression avec 7-Zip et synchronisation Cloud

Afin d’optimiser la taille du fichier .bak et accélérer la synchronisation vers le Cloud, une **compression automatique en .zip** a été envisagée. L’outil **7-Zip** a été installé, et le script a été amélioré pour inclure la compression ;



[Home](#)
[7z Format](#)
[LZMA SDK](#)
[Download](#)
[FAQ](#)
[Support](#)
[Links](#)

[English](#)
[Chinese Simpl.](#)
[Chinese Trad.](#)
[Esperanto](#)
[French](#)
[German](#)

7-Zip

7-Zip is a file archiver with a high compression ratio.

Download 7-Zip 24.09 (2024-11-29) for Windows x64 (64-bit):

| Link | Type | Windows | Size |
|--------------------------|------|------------|--------|
| Download | .exe | 64-bit x64 | 1.6 MB |

Download 7-Zip 24.09 for another Windows platforms (32-bit x86 or ARM64):

| Link | Type | Windows | Size |
|--------------------------|------|--------------|--------|
| Download | .exe | 32-bit x86 | 1.3 MB |
| Download | .exe | 64-bit ARM64 | 1.5 MB |

License

Figure 53 : installation de L’outil ou le programme 7-Zip (7z)

```

@echo off

set SERVER=DESKTOP-48KG94C\TEW_SQLEXPRESS

set DATABASE=LigneEnsacheuse

set BACKUPFOLDER=C:\GoogleDrive\LigneEnsacheuseDB

set BACKUPFILE=%BACKUPFOLDER%\%DATABASE%_daily.bak

set ZIPFILE=%BACKUPFOLDER%\%DATABASE%_daily.bak.zip

echo =====

echo Backing up database: %DATABASE%

echo Server: %SERVER%

echo Backup file: %BACKUPFILE%

echo Time: %DATE% %TIME%

echo =====

sqlcmd -S "%SERVER%" -Q "BACKUP DATABASE [%DATABASE%] TO DISK = N'%BACKUPFILE%' WITH INIT,
FORMAT"

IF ERRORLEVEL 1 (

    echo [ERROR] SQL backup failed. Aborting script.

    pause

    exit /b 1)

echo Backup completed. Compressing with 7-Zip...

"C:\Program Files\7-Zip\7z.exe" a -tzip "%ZIPFILE%" "%BACKUPFILE%"

IF EXIST "%ZIPFILE%" (

    echo Compression successful. Deleting original .bak file...

    del "%BACKUPFILE%")

ELSE (echo [ERROR] Compression failed. .bak file not deleted)

echo All done!

pause

```

Figure 54 : Nouveau script .bat pour la compression ZIP mise à jour

L'utilisation de la compression des sauvegardes offre plusieurs bénéfices majeurs. Elle permet une réduction significative de la taille des fichiers sauvegardés, ce qui optimise l'espace de stockage local. Cette compression accélère également le processus de synchronisation vers Google Drive en réduisant le volume de données à transférer. Enfin, elle diminue la consommation de bande passante, particulièrement avantageuse pour les environnements avec des connexions limitées ou partagées.

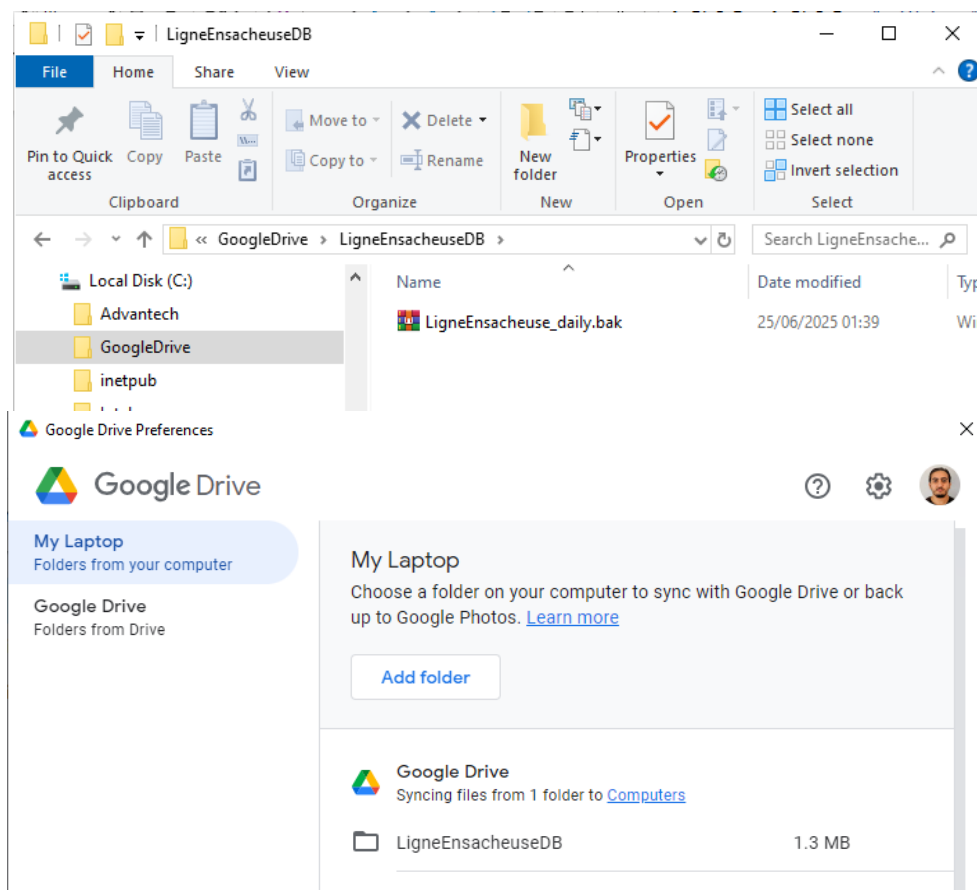


Figure 55 : Le fichier ‘BAK’ après compression ‘Zip’ et synchronisation sur le Cloud

La mise en place de cette solution de sauvegarde automatisée a permis de garantir la continuité des données critiques tout en s'appuyant sur des outils gratuits et performants. Elle offre une solution robuste, reproductible et facile à maintenir, tout en réduisant considérablement les risques opérationnels. Elle a abouti à une sauvegarde quotidienne opérationnelle sans intervention manuelle, à une réduction notable du risque de perte de données grâce au stockage sur le Cloud, et à un processus clairement documenté et reproductible. Les tests de restauration ont validé l'intégrité des sauvegardes, renforçant ainsi la confiance des opérateurs et de l'encadrement dans la fiabilité du système, qui permet une récupération rapide en cas d'incident. Enfin, cette solution reste évolutive et adaptable, avec la possibilité future d'ajouter des fonctionnalités comme la compression, les notifications automatiques ou la gestion de versions multiples.

6. Conclusion :

Cette mise en place d'une sauvegarde automatisée vers le Cloud répond aux exigences de fiabilité et disponibilité des données de la ligne d'ensachage. Le processus, bien documenté et testé, garantit une protection efficace contre la perte de données et offre une base solide pour de futures évolutions (archivage, notifications, accès distant). L'approche, entièrement basée sur des outils gratuits (SQL Server Express, batch, Google Drive), démontre qu'il est possible de mettre en œuvre une solution robuste sans investissement supplémentaire majeur.



Figure 56 : Workflow du processus de synchronisation de la base de données

Chapitre 6 : Elaboration d'un tableau de bord pour la traçabilité et l'analyse de performance de la ligne d'ensachage

I. Introduction au Tableau de Bord et ses Objectifs

1. Introduction

Les chapitres précédents ont détaillé la mise en place d'une infrastructure robuste pour la collecte, le stockage et l'automatisation du calcul des indicateurs de performance (KPIs) de la ligne d'ensachage du MCP chez OCP. Nous avons mis en œuvre un processus qui transforme les données opérationnelles brutes, saisies via Excel, en informations structurées au sein d'une base de données SQL Server, puis en KPIs de production, de maintenance et de qualité calculés de manière fiable et automatique.

Cependant, la simple existence de ces données et indicateurs, aussi précis soient-ils, ne garantit pas leur pleine exploitation. Pour que ces informations deviennent de véritables leviers d'action et de décision, elles doivent être présentées de manière claire, concise et intuitive. C'est précisément le rôle du tableau de bord. Il constitue l'interface utilisateur finale, celle qui bridge le fossé entre la complexité des bases de données et la nécessité d'une prise de décision rapide et éclairée par les opérateurs, les techniciens et le management. Ce chapitre se consacre donc à la conception et à l'implémentation de ce tableau de bord, pierre angulaire de la traçabilité et de l'analyse de performance.

2. Objectifs Spécifiques du Tableau de Bord

Le tableau de bord que nous élaborons pour la ligne d'ensachage vise plusieurs objectifs stratégiques :

- Offrir une Vue Synthétique et en Temps Quasi Réel : Permettre aux utilisateurs d'accéder rapidement à une vue d'ensemble des performances actuelles et passées de la ligne, consolidant les indicateurs de production, de maintenance et de qualité en un seul point d'accès.
- Faciliter l'Identification des Tendances et des Anomalies : Grâce à des visualisations intuitives, le tableau de bord doit rendre évidentes les fluctuations, les dégradations de performance ou, à l'inverse, les améliorations, permettant ainsi d'agir proactivement.
- Soutenir l'Analyse des Causes Racines : En offrant des capacités d'exploration (drill-down) et de filtrage, il doit permettre de passer des KPIs agrégés aux données sous-jacentes, aidant ainsi à comprendre *pourquoi* une performance est bonne ou mauvaise.
- Promouvoir une Culture d'Amélioration Continue : En fournissant des données fiables et facilement accessibles, le tableau de bord encourage les équipes à évaluer l'efficacité

des actions correctives mises en place et à identifier de nouvelles opportunités d'optimisation.

- Améliorer la Communication Interne : Il sert de référentiel commun et objectif pour les discussions sur la performance, favorisant la collaboration entre les différents services (production, maintenance, qualité).

II. Choix et Justification de l'Outil de Business Intelligence (BI)

Le succès de tout tableau de bord repose non seulement sur la qualité des données sous-jacentes, mais aussi sur l'efficacité de l'outil utilisé pour les visualiser. Par conséquent, la sélection de notre solution de Business Intelligence (BI) n'a pas été une décision aléatoire ; elle a été minutieusement guidée par des critères spécifiques visant à garantir l'efficacité, la fiabilité et l'évolutivité de notre système d'analyse de performance.

1. Critères de Sélection de Outil POWER BI :

Pour identifier l'outil de BI le plus approprié au contexte d'OCP, nous avons évalué rigoureusement plusieurs facteurs clés.

La connectivité et l'intégration étaient primordiales, exigeant que l'outil offre des connexions robustes et natives à notre base de données SQL Server Express afin d'assurer un flux de données fluide et des informations à jour.

La facilité d'utilisation était une autre considération critique, l'outil devant être suffisamment intuitif pour permettre le développement rapide de visualisations complexes, tout en restant simple à utiliser pour les utilisateurs finaux (opérateurs, techniciens, management), même avec peu d'expérience en analyse de données.

Nous avons également recherché des capacités de visualisation riches, nous attendant à une vaste gamme de types de graphiques, des fonctionnalités de tableau de bord interactives telles que des filtres et des options de drill-down, ainsi qu'une esthétique visuelle moderne pour rendre les données plus engageantes.

Au-delà de la fonctionnalité, les caractéristiques de scalabilité et de partage de la solution étaient vitales pour supporter une éventuelle augmentation du volume de données et pour permettre une distribution sécurisée des rapports aux diverses parties prenantes au sein d'OCP.

Enfin, le modèle de coût et de licence, ainsi que sa compatibilité avec l'écosystème technologique existant chez OCP, ont joué un rôle significatif dans notre processus de décision.

2. Présentation de l'Outil Choisi Power BI

Sur la base de ces critères exhaustifs, **Microsoft Power BI** s'est imposé comme le choix le plus approprié pour l'élaboration de notre tableau de bord. Power BI est une suite puissante d'outils de Business Intelligence développée par Microsoft, largement reconnue pour ses solides capacités d'analyse et son interface de visualisation conviviale. Il excelle à transformer des données brutes provenant de diverses sources en informations exploitables via des rapports interactifs et des tableaux de bord dynamiques.



Figure 57 : SQL server avec Power BI

3. Avantages de Power BI pour ce Projet :

L'adoption de Power BI apporte des avantages substantiels à notre projet de traçabilité et d'analyse de performance des données. Son **intégration transparente avec SQL Server** est un atout majeur, fournissant des connecteurs natifs et optimisés qui garantissent une connexion rapide et fiable à notre base de données `LigneEnsachage` et à ses tables cruciales, notamment `Cycle_Production`, `KPIs_Production` et `KPIs_Maintenance`. Ce lien direct simplifie considérablement les processus d'extraction et de rafraîchissement des données. Power BI dispose également d'une riche bibliothèque de visualisations interactives, nous permettant de représenter les KPIs avec clarté et impact. Cette interactivité est essentielle, offrant aux utilisateurs la flexibilité de filtrer les données par date, type d'arrêt ou équipe pour des analyses plus approfondies. De plus, les capacités robustes de modélisation de données de Power BI nous permettent de construire un modèle de données unifié, reliant les différentes tables de notre base de données. Cela assure la cohérence des calculs et simplifie la création de mesures complexes basées sur nos KPIs déjà calculés. Ses fonctionnalités de partage et de collaboration au sein du service Power BI facilitent la publication et la distribution sécurisées des tableaux de bord aux équipes concernées, garantissant que chacun accède à la même information unique et à jour. Enfin, bien que notre base de données réside actuellement sur SQL Server Express, la scalabilité inhérente de Power BI signifie qu'il peut gérer des volumes de données beaucoup plus importants, offrant ainsi une marge de croissance considérable pour l'avenir du projet.

4. Connexion aux Sources et Acquisition des Données

L'établissement de la connexion entre Power BI et la base de données SQL Server LigneEnsacheuse est une étape critique pour l'acquisition des données nécessaires au calcul et à l'affichage des KPIs de maintenance. Cette connexion a été configurée via l'interface de Power BI Desktop, en spécifiant les paramètres suivants :

- **Serveur** : DESKTOP-48KG94C\TEW_SQLEXPRESS
- **Base de données** : LigneEnsacheuse
- **Mode de Connectivité des Données** : Le mode "Import" a été privilégié pour cette connexion. Ce choix permet à Power BI de charger les données directement dans son modèle interne, offrant ainsi une rapidité d'exécution optimale pour les visualisations et les interactions avec le tableau de bord. Bien que le mode "DirectQuery" permette un rafraîchissement en temps réel, le mode "Import" était plus adapté compte tenu de la taille des données et de la nécessité d'effectuer des calculs complexes et des agrégations directement dans le modèle de données de Power BI sans impacter les performances du serveur SQL pour chaque interaction.
- **Authentification** : L'authentification a été configurée pour garantir un accès sécurisé à la base de données.

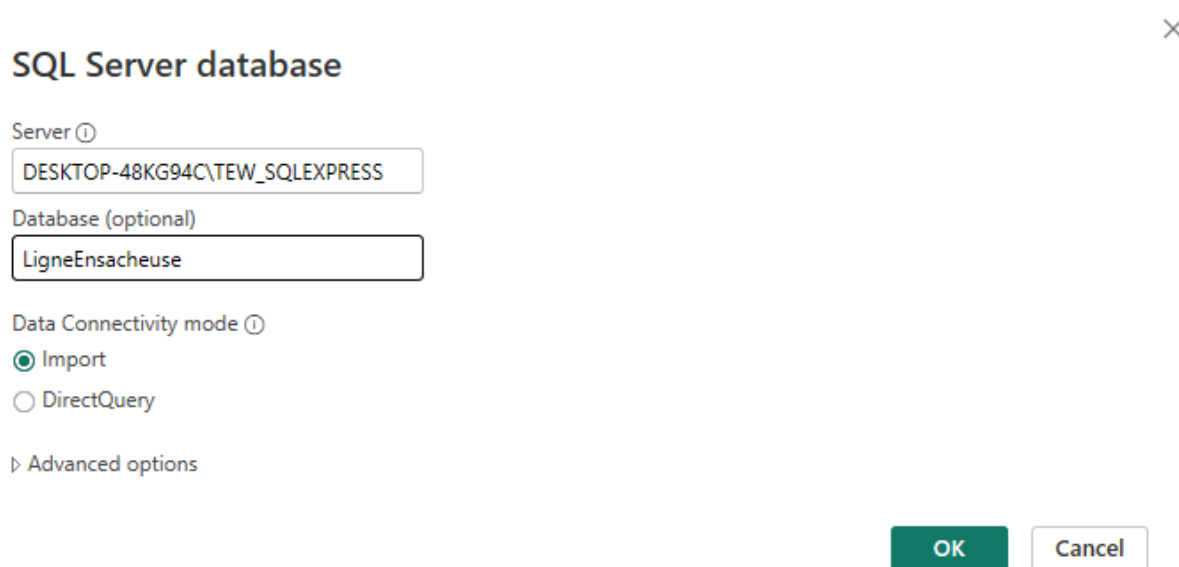


Figure 58 : Configuration de Power BI pour la connexion à la base de données SQL Server

Une fois la connexion établie, les tables clés contenant les données brutes et les KPIs déjà calculés ont été sélectionnées et importées dans le modèle de données de Power BI. Pour la page des KPIs de Maintenance, les tables KPIs_Maintenance,

Cycle_Production, ainsi que potentiellement Arrêts_Non_Planifier pour des analyses plus granulaires ou des calculs complémentaires, ont été les principales sources de données. Cette acquisition initiale des données a permis de poser les fondations nécessaires à la préparation et à la modélisation ultérieure en vue de la visualisation.

Table: Arrets_Non_Planifier (40 rows)

| Cycle | N_Arret | Temps_Arret | Ensemble_Defaillance | Sous_Ensemble_Defaillance | Composant_Defaillance | Defaillance | Commentaire |
|-----------------------|---------|-------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| mardi 17 juin 2025 | 6 | 20:45:33 | Ensacheuse | Ensemble de coupe et soudure | Couteau | Usure | |
| mardi 17 juin 2025 | 5 | 19:15:22 | Ensacheuse | Groupe d'ouverture de sac | Ventouse | Dechirure | |
| mardi 17 juin 2025 | 4 | 16:10:45 | Hausseuse | Système d'ouverture du film | Verin | Fuite | |
| mardi 17 juin 2025 | 3 | 13:25:18 | Ensacheuse | Ensemble de coupe et soudure | Moteur | Surchauffe | |
| mardi 17 juin 2025 | 2 | 10:55:47 | Robot | Main Robot | Pince | Desserrage | |
| mardi 17 juin 2025 | 1 | 09:30:14 | Ensacheuse | Groupe d'ouverture de sac | Ventouse | Fuite | |
| mercredi 18 juin 2025 | 9 | 20:35:33 | Hausseuse | Système d'ouverture du film | Capteur | Dysfonctionnement | |
| mercredi 18 juin 2025 | 8 | 19:05:22 | Ensacheuse | Groupe d'ouverture de sac | Electrovanne | Bloquee | |
| mercredi 18 juin 2025 | 7 | 16:20:45 | Palettiseuse | Tapis rouleaux métalliques B.600 | Roulement | Bruit anormal | |
| mercredi 18 juin 2025 | 6 | 13:45:18 | Ensacheuse | Groupe d'ouverture de sac | Ventouse | Fuite | |
| mercredi 18 juin 2025 | 5 | 12:25:47 | Palettiseuse | Tapis rouleaux métalliques B.600 | Chaine | Rupture | |
| mercredi 18 juin 2025 | 4 | 10:55:14 | Robot | Main Robot | Servomoteur | Panne electrique | |
| mercredi 18 juin 2025 | 3 | 15:30:07 | Ensacheuse | trémie de réception | Vanne | Obstruction | |
| mercredi 18 juin 2025 | 2 | 09:45:22 | Ensacheuse | Groupe d'ouverture de sac | Ventouse | Reglage defectueux | |
| mercredi 18 juin 2025 | 1 | 18:45:33 | Hausseuse | Système d'ouverture du film | Arbre | Desalignement | |
| jeudi 19 juin 2025 | 6 | 20:35:33 | Ensacheuse | Ensemble de coupe et soudure | Resistance | Court-circuit | |
| jeudi 19 juin 2025 | 5 | 19:05:22 | Robot | Corps robot | Carte electronique | Defaut de communication | |
| jeudi 19 juin 2025 | 4 | 16:20:45 | Ensacheuse | trémie de réception | Capteur de niveau | Hors service | |
| jeudi 19 juin 2025 | 3 | 13:45:18 | Ensacheuse | Ensemble de coupe et soudure | Regulateur de temperature | Depassement de consigne | |
| jeudi 19 juin 2025 | 2 | 12:25:47 | Ensacheuse | Groupe d'ouverture de sac | Pompe a vide | Perte d'aspiration | |
| jeudi 19 juin 2025 | 1 | 10:55:14 | Ensacheuse | trémie de réception | Filtre | Encrassement | |
| vendredi 20 juin 2025 | 4 | 14:21:22 | Hausseuse | Système d'ouverture du film | Engrenage | Dent cassee | |

Figure 59 : Données de SQL Server chargées dans Power BI

III. Conception et Visualisation de la Page "KPIs de Maintenance"

1. Préparation et Modélisation des Données

Une fois les données brutes des KPIs de maintenance importées depuis SQL Server dans le modèle de données de Power BI, une étape cruciale de préparation et de modélisation s'est avérée indispensable. Cette phase vise à optimiser les données pour l'analyse, à garantir la cohérence des formats et à créer des agrégats dynamiques, permettant ainsi une visualisation précise et performante des indicateurs clés.

1.1. Conversion et Standardisation des Données Temporelles

Les données relatives aux durées, telles que le Temps Moyen Entre les Défaillances (MTBF) et le Temps Moyen de Réparation (MTTR), peuvent être importées sous des formats variés depuis la base de données, parfois non directement exploitables pour des calculs numériques agrégés dans Power BI sans manipulation préalable. Pour surmonter cette hétérogénéité et

faciliter les opérations mathématiques, deux nouvelles colonnes calculées ont été introduites dans la table `KPIs_Maintenance`. Ces colonnes, nommées `MTBF_Minutes` et `MTTR_Minutes`, convertissent les durées correspondantes en une représentation décimale unique (par exemple, en minutes ou en une fraction décimale d'heure), rendant ainsi ces indicateurs pleinement compatibles avec les fonctions d'agrégation de Power BI. Cette standardisation assure la fiabilité des calculs ultérieurs et la flexibilité dans l'analyse temporelle.

| <div> <div>✕ ✓</div> <div> 1 MTBF_Minutes = 2 HOUR('KPIs_Maintenance'[MTBF]) * 60 + 3 MINUTE('KPIs_Maintenance'[MTBF]) + 4 SECOND('KPIs_Maintenance'[MTBF]) / 60 </div> </div> | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|-----------------|----------------|---------|----------------|------------------|------------------|--|
| Cycle | MTBF | MTTR | TauxDefaillance | TauxReparation | TMP | TauxReactivite | MTBF_Minutes | MTTR_Minutes | |
| mardi 17 juin 2025 | 01:25:30 | 00:29:08 | 0,7018 | 2,0595 | 52,6864 | 33,3651 | 85,5 | 29,1333333333333 | |
| mercredi 18 juin 2025 | 00:36:21 | 00:41:34 | 1,6506 | 1,4435 | 23,8768 | 50,7907 | 36,35 | 41,5666666666667 | |
| jeudi 19 juin 2025 | 01:50:52 | 00:29:34 | 0,5412 | 2,0293 | 22,9234 | 41,95 | 110,866666666667 | 29,5666666666667 | |
| vendredi 20 juin 2025 | 02:57:45 | 00:25:00 | 0,3376 | 2,4 | 64,7727 | 38 | 177,75 | 25 | |
| samedi 21 juin 2025 | 01:39:00 | 00:24:40 | 0,6061 | 2,4324 | 63,5965 | 43,9189 | 99 | 24,6666666666667 | |
| lundi 23 juin 2025 | 00:55:26 | 00:28:20 | 1,0824 | 2,1176 | 46,2366 | 41,1765 | 55,4333333333333 | 28,3333333333333 | |

| <div> <div>✕ ✓</div> <div> 1 MTTR_Minutes = 2 HOUR('KPIs_Maintenance'[MTTR]) * 60 + 3 MINUTE('KPIs_Maintenance'[MTTR]) + 4 SECOND('KPIs_Maintenance'[MTTR]) / 60 </div> </div> | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|-----------------|----------------|---------|----------------|------------------|------------------|--|
| Cycle | MTBF | MTTR | TauxDefaillance | TauxReparation | TMP | TauxReactivite | MTBF_Minutes | MTTR_Minutes | |
| mardi 17 juin 2025 | 01:25:30 | 00:29:08 | 0,7018 | 2,0595 | 52,6864 | 33,3651 | 85,5 | 29,1333333333333 | |
| mercredi 18 juin 2025 | 00:36:21 | 00:41:34 | 1,6506 | 1,4435 | 23,8768 | 50,7907 | 36,35 | 41,5666666666667 | |
| jeudi 19 juin 2025 | 01:50:52 | 00:29:34 | 0,5412 | 2,0293 | 22,9234 | 41,95 | 110,866666666667 | 29,5666666666667 | |
| vendredi 20 juin 2025 | 02:57:45 | 00:25:00 | 0,3376 | 2,4 | 64,7727 | 38 | 177,75 | 25 | |
| samedi 21 juin 2025 | 01:39:00 | 00:24:40 | 0,6061 | 2,4324 | 63,5965 | 43,9189 | 99 | 24,6666666666667 | |
| lundi 23 juin 2025 | 00:55:26 | 00:28:20 | 1,0824 | 2,1176 | 46,2366 | 41,1765 | 55,4333333333333 | 28,3333333333333 | |

Figure 60 : Création des colonnes pour le stockage des temps MTBF et MTTR (en heures décimales)

1.2. Création des Mesures Agrégées et Formattées (DAX)

Afin de présenter les moyennes des KPIs de maintenance (MTBF et MTTR) de manière dynamique, en tenant compte des filtres appliqués par l'utilisateur, et dans un format temporel immédiatement compréhensible ("HH:MM:SS"), des mesures spécifiques ont été développées en utilisant le langage DAX (Data Analysis Expressions). Ces mesures permettent non seulement de calculer les agrégats requis, mais aussi d'assurer une présentation uniforme et professionnelle des données.

La mesure `Moyenne du MTBF`, par exemple, illustre cette démarche. Elle débute par le calcul de la moyenne numérique du MTBF sur la plage de données sélectionnée (`AVERAGE('KPIs_Maintenance'[MTBF])`). Ensuite, cette valeur décimale (qui représente une fraction de jour) est convertie en secondes totales via une multiplication par 86400 (nombre de secondes dans une journée). Les heures, minutes et secondes sont ensuite extraites séquentiellement à l'aide des fonctions `INT` et `MOD`. Enfin, ces composants temporels sont

concaténés et formatés en une chaîne de caractères "HH:MM:SS" grâce à la fonction `FORMAT`, assurant une lecture aisée et standardisée de l'indicateur.

De manière analogue, la mesure `Moyenne` du `MTTR` a été élaborée en appliquant une logique similaire. Elle calcule la moyenne du temps de réparation et la formate dans le même standard temporel. L'intégration de ces mesures dynamiques garantit que les informations affichées dans le tableau de bord sont toujours à jour, précises et adaptées au contexte d'analyse choisi par l'utilisateur, offrant ainsi une base solide pour l'évaluation de la performance maintenance.

```
1 Moyenne du MTTR =  
2 VAR AvgDecimal = AVERAGE('KPIs_Maintenance'[MTTR])  
3 VAR TotalSeconds = AvgDecimal * 86400  
4 VAR Hours = INT(TotalSeconds / 3600)  
5 VAR Minutes = INT(MOD(TotalSeconds, 3600) / 60)  
6 VAR Seconds = INT(MOD(TotalSeconds, 60))  
7 RETURN  
8 FORMAT(Hours, "00") & ":" & FORMAT(Minutes, "00") & ":" & FORMAT(Seconds, "00")  
  
1 Moyenne du MTBF =  
2 VAR AvgDecimal = AVERAGE('KPIs_Maintenance'[MTBF])  
3 VAR TotalSeconds = AvgDecimal * 86400  
4 VAR Hours = INT(TotalSeconds / 3600)  
5 VAR Minutes = INT(MOD(TotalSeconds, 3600) / 60)  
6 VAR Seconds = INT(MOD(TotalSeconds, 60))  
7 RETURN  
8 FORMAT(Hours, "00") & ":" & FORMAT(Minutes, "00") & ":" & FORMAT(Seconds, "00")
```

Figure 61 : Mesure DAX pour la moyenne des indicateurs MTBF et MTTR

2. Présentation Visuelle des KPIs de Maintenance

L'aboutissement du processus de collecte, de préparation et de modélisation des données pour les indicateurs de maintenance se matérialise dans cette page dédiée du tableau de bord. La conception visuelle de cette section a été pensée pour offrir une lecture rapide et intuitive des performances de maintenance, permettant aux équipes d'identifier en un coup d'œil les points forts et les axes d'amélioration.

2.1. Description de la Conception et des Visualisations

La page "KPIs de Maintenance" se distingue par son thème visuel axé sur la couleur orange, offrant une identification rapide et claire au sein du tableau de bord global. L'agencement des éléments a été optimisé pour une lecture logique, commençant par les indicateurs de temps (MTTR, MTBF) avant de passer aux taux associés et aux agrégats globaux.

En haut de page, les graphiques en aires (Area Charts) pour le "**MTTR (Min)**" et le "**MTBF (Min)**" présentent l'évolution de ces indicateurs clés sur une période temporelle (par Jour). Ces visualisations permettent de détecter instantanément les tendances, les pics

anormaux de temps de réparation ou les baisses de fiabilité. Au centre, un graphique combiné (Combo Chart) illustre la relation entre le **"Taux de Défaillance v Taux Réparation"**, montrant l'évolution des deux taux sur la même période et permettant de corréler la fréquence des pannes avec la rapidité des réparations.

La partie inférieure de la page est dédiée à l'analyse de la maintenance préventive et réactive, ainsi qu'à la synthèse des moyennes. Un graphique à barres horizontales présente le **"Taux de Maintenance Préventive (%)"** par jour, offrant une vue détaillée de l'effort de maintenance planifiée. Autour de ce graphique, des cartes de score (Card Visuals) mettent en avant les **moyennes agrégées** sur la période sélectionnée pour les indicateurs les plus critiques : "Moyenne du Taux de Réactivité (%)", "Moyenne du Taux de Maintenance Préventive (%)", "Moyenne du MTTR" et "Moyenne du MTBF". Ces cartes fournissent des points de référence rapides pour évaluer la performance globale. L'ensemble de ces visualisations travaille de concert pour offrir une analyse complète et des insights actionnables sur la santé et l'efficacité des opérations de maintenance de la ligne.

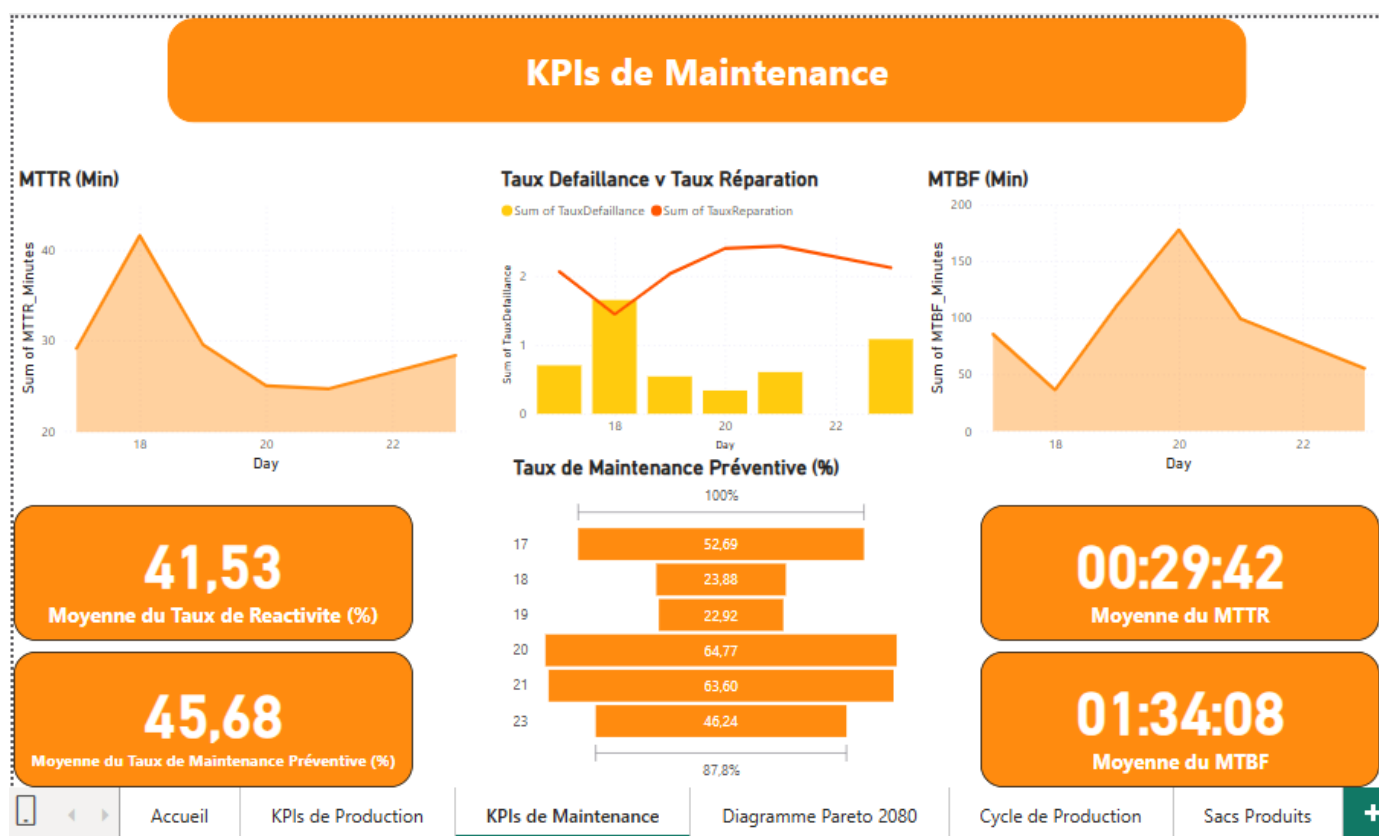


Figure 62 : Tableau de bord pour la visualisation des graphs de KPIs de Maintenance

2.2. Interprétation des Résultats

L'examen des données présentées sur la page "KPIs de Maintenance" pour la période observée offre un aperçu critique de la fiabilité et de l'efficacité de la maintenance de la ligne d'ensachage, tel que démontré par les tendances et les valeurs moyennes.

Le **Temps Moyen Entre les Défaillances (MTBF)**, indicateur de la fiabilité des équipements, présente une variabilité notable sur la période analysée. On observe des fluctuations significatives, avec des périodes de meilleure fiabilité (pics dans le graphique du MTBF) alternant avec des phases où les défaillances sont plus rapprochées. Parallèlement, le **Temps Moyen de Réparation (MTTR)**, qui évalue l'efficacité des interventions de maintenance, montre également des variations. Des augmentations du MTTR, comme celles visibles sur le graphique, indiquent des durées d'intervention plus longues, suggérant des pannes plus complexes ou des délais de réparation accrus sur certains jours. Les courbes du "Taux de Défaillance" et du "Taux de Réparation" reflètent directement ces dynamiques du MTBF et du MTTR, le taux de défaillance étant inversement proportionnel au MTBF et le taux de réparation au MTTR.

Le **Taux de Maintien Préventif (TMP)**, évaluant l'efficacité de la maintenance préventive par rapport aux interventions totales, affiche une fluctuation considérable d'un jour à l'autre. Cette variation suggère une planification ou une exécution inégale des activités de maintenance préventive, ou une dépendance significative à la fréquence des pannes imprévues qui diluent l'impact des actions préventives. Enfin, le **Taux de Réactivité**, mesurant la rapidité d'intervention des équipes après une défaillance, varie également. Un taux plus élevé est souhaitable, indiquant une meilleure célérité dans le démarrage des actions correctives.

En somme, ces KPIs de maintenance, calculés automatiquement et visualisés de manière interactive, fournissent des points de données essentiels pour évaluer la santé des équipements et l'efficacité des stratégies de maintenance. Les variations observées sur cette période soulignent l'importance d'un suivi continu pour identifier les causes profondes des défaillances et optimiser les temps d'intervention, contribuant ainsi à l'amélioration globale de la disponibilité et de la fiabilité de la ligne d'ensachage.

IV. Conception et Visualisation de la Page "KPIs de Production"

La performance d'une ligne d'ensachage ne se mesure pas uniquement à sa disponibilité technique ; elle englobe également son efficacité opérationnelle, sa capacité à produire au rythme attendu et la qualité de sa production. La page "KPIs de Production" a été conçue pour fournir une vue d'ensemble complète de ces aspects, en convertissant les données brutes et les indicateurs calculés en informations visuelles claires et exploitables. Cette section détaille la conception de cette page et propose une interprétation des résultats qu'elle affiche.

1. Conception du Tableau de Bord et des Visualisations

La page "KPIs de Production" arbore une esthétique cohérente avec le reste du tableau de bord, utilisant la couleur verte pour distinguer visuellement les indicateurs de production. Son agencement a été pensé pour présenter les KPIs majeurs de la performance de production selon une logique de flux, permettant une compréhension graduelle et une analyse approfondie.

En haut de page, trois graphiques sont positionnés stratégiquement. Le "Taux de Rendement Synthétique (TRS) (%)" est visualisé par un graphique à barres, offrant une vue directe de l'efficacité globale de la ligne, consolidant la disponibilité, la performance et la qualité. Juste à côté, un graphique en aires (Area Chart) représente le "Taux de Rendement Économique (TRE) (%)", un indicateur clé qui intègre l'aspect économique en plus de la performance pure, mettant en lumière le rendement financier potentiel. Le troisième visuel, un graphique combiné, superpose le "Taux de Charge vs Taux Disponibilité Technique (%)", permettant de comparer l'utilisation réelle de la ligne par rapport à sa capacité maximale disponible, et d'identifier ainsi les périodes de sous-utilisation.

La partie inférieure de la page se concentre sur des indicateurs plus spécifiques de la performance et de la qualité. Un graphique linéaire (Line Chart) illustre la tendance du "Taux de Performance (%)", reflétant l'efficacité de la ligne à produire au rythme nominal. Un autre graphique à barres met en évidence le "Taux de Rendement Global (TRG) (%)", qui évalue la performance de la ligne en termes de vitesse de production et de qualité des produits, sans considérer les temps d'arrêt. Enfin, le "Taux de Qualité (%)" est représenté par un graphique linéaire, offrant une vision claire de la conformité des produits finis sur la période, un indicateur direct de l'efficacité du processus de production en matière de qualité.

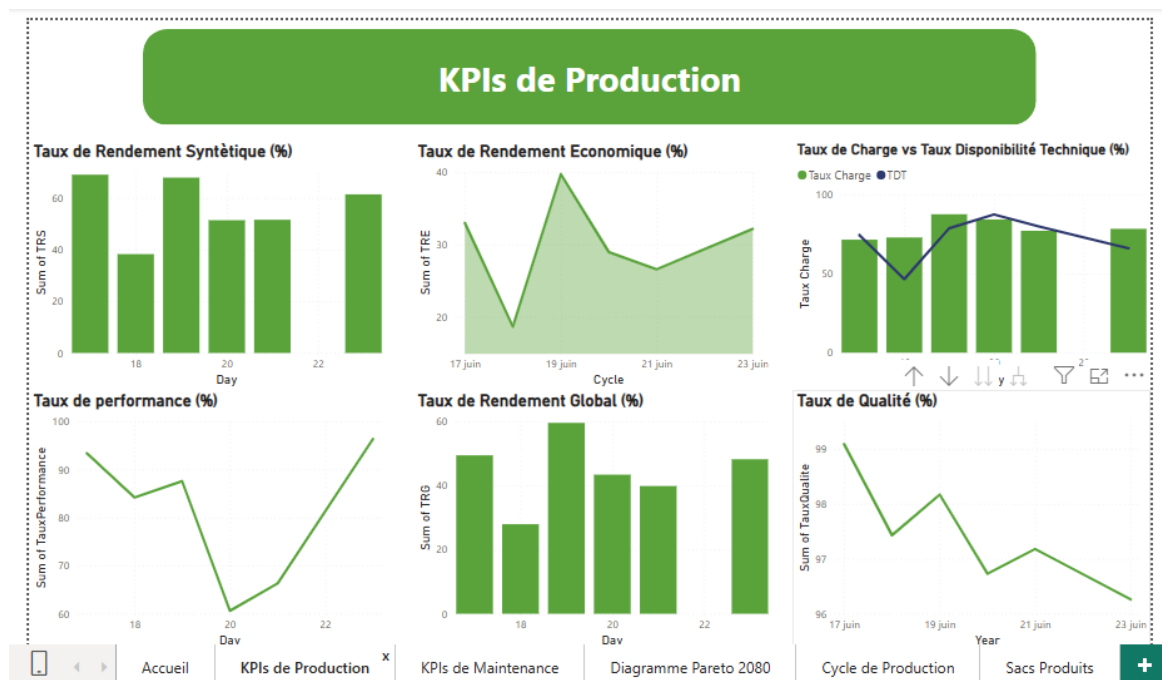


Figure 63 : Tableau de bord pour la visualisation des graphs de KPIs de Production

2. Interprétation des Résultats

L'analyse des KPIs de production affichés sur cette page révèle des dynamiques variées qui sont essentielles pour le pilotage opérationnel de la ligne d'ensachage.

Le Taux de Rendement Synthétique (TRS) montre des fluctuations significatives, indiquant que la performance globale de la ligne n'est pas constante. Des valeurs faibles peuvent résulter de problèmes de disponibilité, de performance ou de qualité. Le Taux de Rendement Économique (TRE), bien que suivant généralement la tendance du TRS, peut présenter des écarts si les coûts ou les valeurs des non-conformités varient, soulignant l'importance d'une analyse intégrée des aspects opérationnels et économiques.

La comparaison entre le Taux de Charge et le Taux de Disponibilité Technique (TDT) est particulièrement instructive. Si le taux de charge est systématiquement inférieur au TDT, cela suggère une sous-utilisation de la ligne, potentiellement due à un manque de commandes, de personnel, ou à des inefficacités organisationnelles qui empêchent la ligne de fonctionner à sa capacité disponible. Des variations dans le Taux de Performance indiquent des écarts par rapport à la cadence nominale, pouvant être causés par des micro-arrêts, des vitesses réduites volontairement ou involontairement.

Le Taux de Rendement Global (TRG) donne une indication de la capacité de la ligne à transformer efficacement les intrants en produits conformes, à une certaine vitesse. Les pics ou les creux dans cet indicateur attirent l'attention sur les périodes où la production a été particulièrement efficace ou, au contraire, problématique. Enfin, le Taux de Qualité est un indicateur direct de la proportion de produits conformes. Des baisses dans ce taux signalent immédiatement des problèmes de qualité qui nécessitent une investigation approfondie pour en déterminer les causes (matières premières, réglages machine, erreurs opérateurs, etc.).

En somme, l'observation croisée de ces différents indicateurs permet une compréhension approfondie des défis opérationnels et des opportunités d'amélioration pour la ligne d'ensachage. Le tableau de bord agit comme un outil de diagnostic continu, orientant les actions vers l'optimisation de la performance globale.

V. Conception et Visualisation de la Page "Cycle de Production"

Comprendre la performance d'une ligne d'ensachage va au-delà des simples arrêts ; cela implique une analyse approfondie de la manière dont le temps total de production est effectivement utilisé ou perdu. La page "Cycle de Production" a été conçue pour décomposer visuellement le temps de fonctionnement de la ligne selon une logique structurée, mettant en lumière les différentes catégories de pertes (arrêts planifiés, non planifiés, écarts de cadence, non-qualité) et le temps de production utile.

1. Conception du Tableau de Bord et des Visualisations

La page "Cycle de Production" utilise une palette de couleurs bleues, similaire à la page Pareto, mais se distingue par une prédominance de graphiques en anneau (Donut Charts) qui facilitent la visualisation des proportions et des contributions de chaque composante au temps total.

Au centre de cette page, le graphique principal "**Temps de Cycle de Production**" est un grand graphique en anneau qui offre une vue macro de la répartition du temps total de la ligne. Il segmente le temps en plusieurs catégories clés :

%Temps_Arrêts_Non_Planifies, %Temps_Arrêts_Planifies, %Temps_perdu_Ecart_Cadence, %Temps_Production_Non_Qualite, et %Temps_Utile. Chaque portion de l'anneau représente la proportion de ces différents types de temps par rapport au temps total, offrant une compréhension immédiate des principales sources de pertes.

Autour de ce graphique central, quatre graphiques en anneau plus petits sont disposés, chacun représentant une étape de la décomposition des pertes de temps, suivant la logique de calcul des indicateurs de performance globale (type OEE). Ces graphiques incluent :

- "**Temps d'Ouverture**" : Il décompose le temps d'ouverture entre le temps requis relatif et les arrêts planifiés relatifs.
- "**Temps Requis**" : Il illustre la part des arrêts non planifiés relatifs par rapport au temps brut relatif.
- "**Temps Brut ou Temps de Bon Fonctionnement**" : Il détaille le temps de disponibilité technique relatif par rapport au temps perdu dû aux écarts de cadence relatifs.
- "**Temps de Disponibilité Technique**" : Il compare le temps utile relatif et le temps de production non qualité relatif.

En complément de ces décompositions proportionnelles, des cartes de score (Card Visuals) sur le côté droit de la page affichent les **moyennes des temps d'arrêt**, comme la "Moyenne du Temps Arrêts Non Planifiés" et la "Moyenne du Temps Arrêts Planifiés". L'ensemble de ces visualisations permet une compréhension hiérarchique et détaillée des pertes de temps, du niveau agrégé au niveau plus spécifique, facilitant ainsi l'identification des leviers d'amélioration.

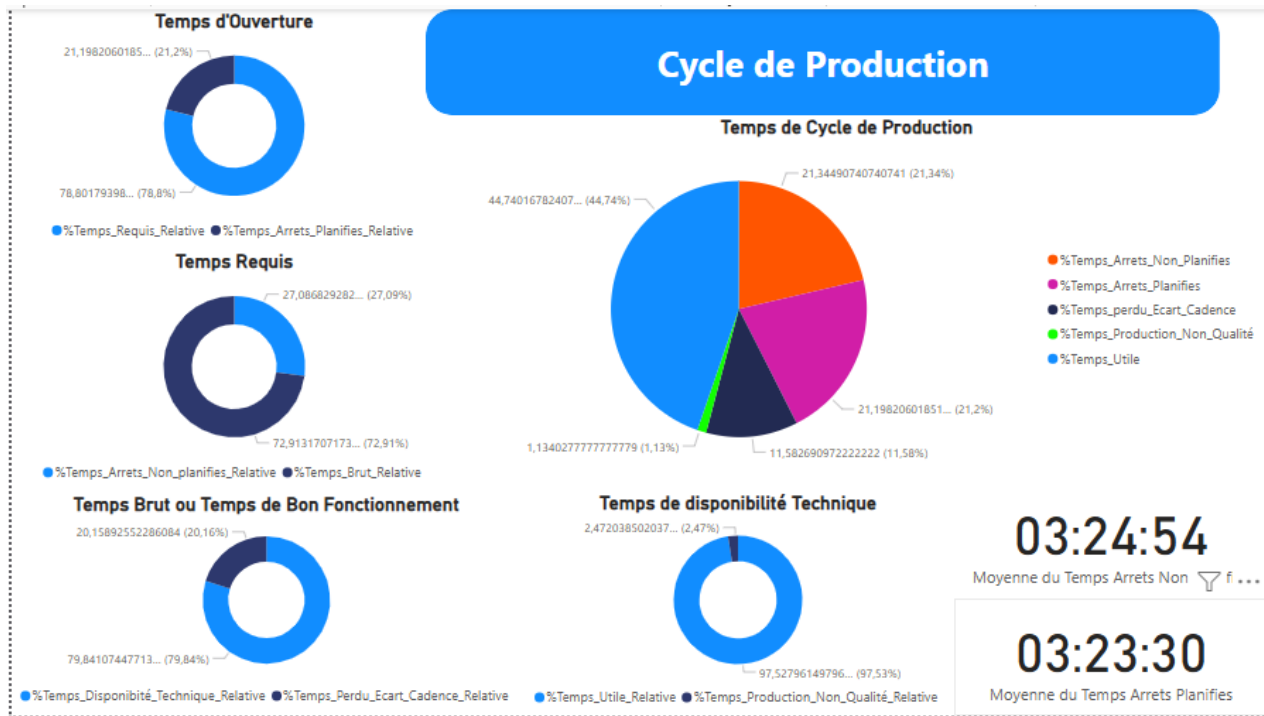


Figure 64 : Tableau de bord pour la visualisation des graphs de cycle de Production

2. Interprétation des Résultats

L'analyse de la page "Cycle de Production" offre des insights profonds sur l'efficacité avec laquelle le temps de fonctionnement de la ligne d'ensachage est converti en valeur productive. La décomposition visuelle du temps de cycle est particulièrement révélatrice des principales catégories de pertes.

Le graphique central "Temps de Cycle de Production" met en évidence la proportion du **"Temps Utile"** par rapport aux diverses catégories de temps perdu. Si le Temps Utile est faible, les plus grandes sections de l'anneau (par exemple, les arrêts non planifiés ou les écarts de cadence) indiquent les domaines prioritaires pour l'optimisation. L'observation des pourcentages des arrêts planifiés et non planifiés permet de distinguer les pertes prévisibles de celles qui sont plus imprévues et nécessitent une attention immédiate. Un pourcentage élevé de "Temps perdu Ecart Cadence" signalerait un problème de performance de vitesse, tandis que le "Temps Production Non Qualité" pointerait vers des pertes liées à des défauts de fabrication.

Les graphiques en anneau de décomposition progressive (Temps d'Ouverture, Temps Requis, Temps Brut, Temps de Disponibilité Technique) permettent de suivre la cascade des pertes et d'identifier à quelle étape du processus la valeur est la plus affectée. Par exemple, une grande part d'arrêts non planifiés dans le "Temps Requis" indiquerait un problème de fiabilité

majeur qui nuit directement au temps brut de fonctionnement. De même, si le "Temps de Disponibilité Technique" est élevé mais le "Temps Utile" est faible à cause du "Temps Production Non Qualité", cela met en lumière un enjeu de qualité même lorsque la machine tourne.

En résumé, cette page offre un diagnostic visuel puissant des sources d'inefficacité, aidant les équipes à cibler leurs efforts pour maximiser le temps de production utile et réduire les diverses formes de pertes, qu'elles soient liées à la disponibilité, à la performance ou à la qualité.

VI. Conception et Visualisation de la Page "Diagramme de Pareto"

Au-delà du suivi des indicateurs de performance, l'analyse des causes racines des pertes est fondamentale pour toute démarche d'amélioration continue. La page "Diagramme de Pareto" a été spécifiquement conçue pour identifier les quelques problèmes critiques responsables de la majorité des arrêts de la ligne d'ensachage, conformément au principe des 80/20.

1. Conception du Tableau de Bord et des Visualisations

La page "Diagramme de Pareto" se distingue par son thème en couleur bleue, offrant une clarté visuelle et une démarcation des sections précédentes du tableau de bord. La mise en page est volontairement minimaliste pour maximiser l'impact de la visualisation centrale, le diagramme de Pareto lui-même.

Au cœur de cette page se trouve le **"Diagramme de Pareto 2080"**, un puissant outil d'analyse graphique. Ce diagramme combine un graphique à barres et une courbe cumulative sur un seul visuel. Les barres, d'une couleur bleue prononcée, représentent la "Durées total de Panne" pour chaque "Sous Ensemble de Défaillance" de la ligne, classés par ordre décroissant d'importance. Cela permet d'identifier immédiatement les catégories de pannes qui génèrent le plus de temps d'arrêt. La courbe rouge, superposée aux barres, représente le "Pourcentage des Sommes Cumulées", indiquant la proportion cumulée des durées totales de panne à mesure que l'on parcourt les catégories de défaillance. Cette courbe est essentielle pour déterminer quel pourcentage des temps d'arrêt est attribuable aux premières causes identifiées, souvent en visant la règle des 80/20. L'axe des X liste les sous-ensembles de défaillance, tandis que l'axe Y de gauche mesure la durée totale de panne et l'axe Y de droite indique le pourcentage cumulé.

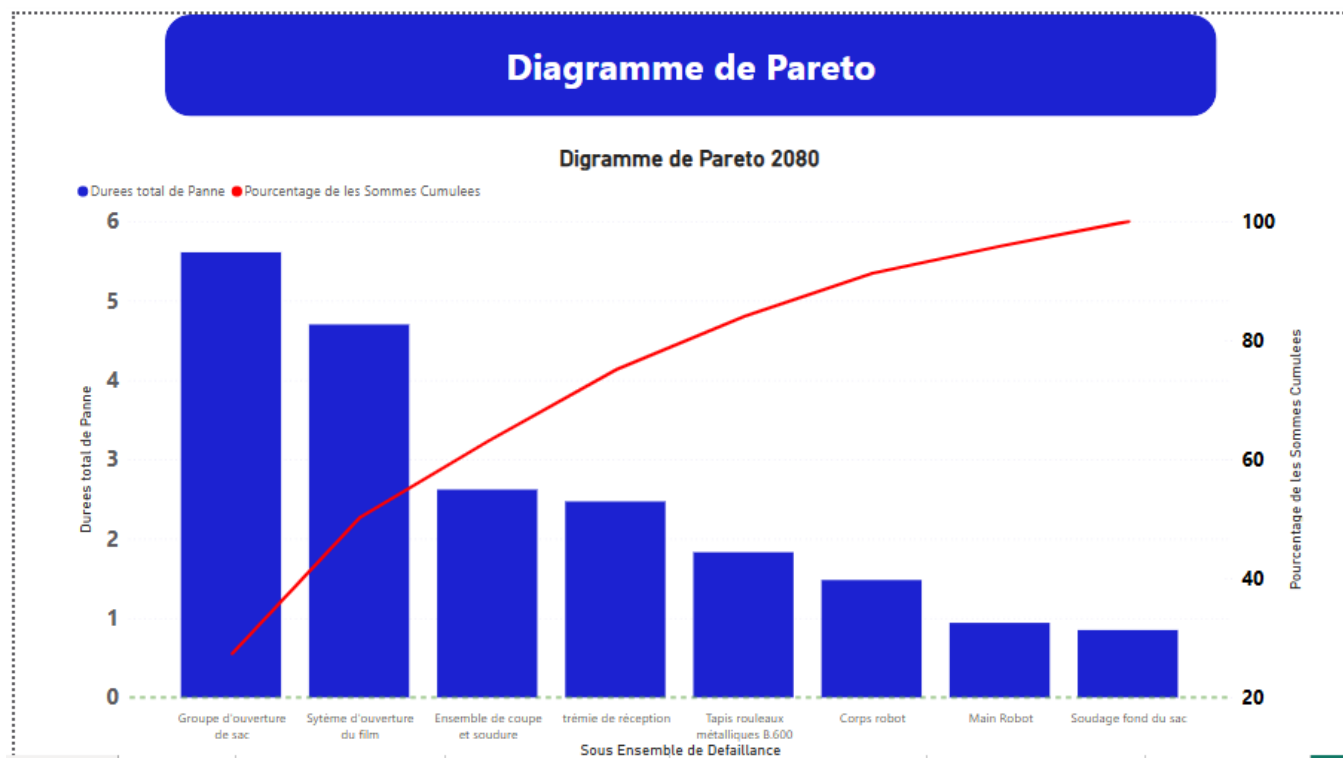


Figure 65 : visualisation de digramme de Pareto 2080

2. Interprétation des Résultats

Le Diagramme de Pareto est un outil diagnostique inestimable qui permet de passer d'une observation générale des problèmes à l'identification des priorités d'action. L'analyse de ce graphique pour la ligne d'ensachage révèle clairement les quelques "sous-ensembles de défaillance" qui contribuent de manière disproportionnée à la durée totale des arrêts.

Conformément au principe de Pareto, on observe généralement que quelques catégories de pannes concentrent la majeure partie des temps d'arrêt. Sur le diagramme présenté, les premières barres, telles que le "Groupe d'Ouverture de sac" et le "Système d'ouverture du film", représentent les contributeurs les plus importants aux durées totales de panne. La courbe cumulative monte rapidement sur ces premières catégories, indiquant que ces quelques défaillances (par exemple, les 2 ou 3 premières) sont responsables d'une part significative (souvent autour de 80%) du temps d'arrêt global. Cela signifie que tout effort d'amélioration ciblé sur ces causes principales aura un impact maximal sur la réduction des pertes de temps de production. L'interprétation de ce diagramme guide directement les équipes de maintenance et d'ingénierie vers les problèmes à traiter en priorité pour optimiser la disponibilité de la ligne.

VII. Conception et Visualisation de la Page "Sacs Produits"

La dernière page majeure du tableau de bord est dédiée à la visualisation des résultats directs de la production : le nombre de sacs et de palettes produits, ainsi que leur conformité. Cette section offre une perspective essentielle sur le rendement quantitatif et qualitatif de la ligne d'ensachage, permettant un suivi précis de la production finale et une identification rapide des problèmes de qualité à la sortie.

1. Conception du Tableau de Bord et des Visualisations

La page "Sacs Produits" utilise un thème visuel vibrant, dominé par le vert, pour souligner son focus sur le résultat tangible de la production. L'agencement des éléments combine des graphiques de tendances et des indicateurs de synthèse pour offrir une lecture complète de la performance des sorties.

En haut de la page, un graphique linéaire (Line Chart) intitulé "Cadence Réelle VS Cadence Nominale" permet de comparer directement le rythme de production effectif par rapport à l'objectif théorique, visualisant ainsi les écarts de performance liés à la vitesse. À côté de ce graphique, deux cartes de score (Card Visuals) affichent des moyennes agrégées clés : la "Moyenne du Sacs Non Conforme" et la "Moyenne du Sacs Total Produit", offrant une vue d'ensemble rapide sur la quantité produite et la proportion de non-conformité. Un graphique en anneau (Donut Chart) complète cette partie supérieure en illustrant clairement le "%Sacs Non Conforme VS %Sacs Produits", soulignant la part (souvent minime et souhaitée ainsi) des sacs qui ne répondent pas aux standards de qualité.

La partie inférieure de la page se concentre sur les volumes et la qualité des sacs et palettes. Un graphique combiné (Bar and Line Chart) présente "Sacs Total Produits Vs Sacs Non Conforme" par jour, permettant de visualiser à la fois le volume total de sacs ensachés et la quantité de sacs défectueux sur la même période. Une visualisation similaire est utilisée pour les palettes avec le graphique combiné "Palettes Produits VS Palettes Non Conforme", offrant un suivi du conditionnement final. Enfin, un autre graphique en anneau pour "%Palettes Non Conforme VS %Palettes Produits" vient confirmer la proportion de non-conformité au niveau des palettes. Cet ensemble de visualisations fournit un aperçu direct et détaillé de la performance de sortie de la ligne, essentiel pour la gestion de la production et le contrôle qualité.



Figure 66 : Tableau de bord pour la visualisation des graphes des données des sacs produits et la qualité

2. Interprétation des Résultats

L'analyse des données de la page "Sacs Produits" fournit des informations directes sur l'efficacité de la ligne d'ensachage à livrer des produits finis, tant en quantité qu'en qualité.

La comparaison entre la **Cadence Réelle** et la **Cadence Nominale** est un indicateur immédiat de l'efficacité de la ligne à maintenir son rythme de production. Des écarts persistants où la cadence réelle est inférieure à la nominale peuvent signaler des goulots d'étranglement, des micro-arrêts non capturés par d'autres KPIs, ou des problèmes d'alimentation en produit.

Les indicateurs relatifs aux sacs et palettes, notamment la **Moyenne du Sacs Total Produit** et la **Moyenne du Sacs Non Conforme**, offrent une vue quantitative de la production. La proportion de sacs et palettes non conformes, clairement visible dans les graphiques en anneau, est un indicateur direct de la qualité de la production. Une faible proportion de non-conformité est attendue et reflète l'efficacité des contrôles et des processus de fabrication. Toute augmentation de ces pourcentages nécessiterait une investigation immédiate pour identifier la source du problème, qu'il s'agisse de la matière, des réglages de la machine ou d'erreurs humaines. Les graphiques de tendance des "Sacs Total Produits Vs Sacs Non Conforme" et "Palettes Produits VS Palettes Non Conforme" permettent d'identifier les jours

ou les périodes où la non-conformité a été particulièrement élevée, facilitant ainsi l'analyse des causes à ces moments précis.

En synthèse, cette page est cruciale pour le suivi quotidien de la production. Elle permet de valider que les objectifs de quantité sont atteints et, plus important encore, que les standards de qualité sont maintenus, assurant ainsi la conformité des produits livrés et l'optimisation des pertes liées à la non-qualité.

Conclusion générale :

Ce rapport de stage a culminé avec des réalisations concrètes et significatives, exclusivement ancrées dans les développements détaillés au sein des Chapitres 5 et 6. Le cœur de ce projet réside dans l'optimisation de la ligne d'ensachage du Monophosphate de Calcium (MCP) au sein de l'OCP, par la mise en place d'un système robuste de suivi et de traçabilité de performance, et la conception d'un tableau de bord décisionnel. L'objectif fondamental était de transformer des problématiques opérationnelles critiques, telles que le déficit de traçabilité des données historiques de production, en opportunités d'amélioration continue et de prise de décision éclairée.

Travail Concret et Réalisations Spécifiques

Le Chapitre 5 a minutieusement décrit la mise en œuvre d'un système intégré de collecte, de stockage et d'automatisation de l'analyse des données. Une réalisation majeure a été la conception et le déploiement d'une architecture de collecte de données via des interfaces Excel intuitives, facilitant la saisie des informations relatives aux arrêts planifiés et non planifiés, ainsi qu'à la production de sacs. L'automatisation de la soumission de ces données vers une base de données SQL Server Express a été assurée par des macros VBA, garantissant une intégration fluide et une réduction significative des erreurs manuelles. Cette procédure a été complétée par l'élaboration d'une passerelle efficace entre Excel et SQL Server, assurant la fiabilité transactionnelle et la haute disponibilité des données.

Au-delà de la simple collecte, le projet a mis en place un processus d'automatisation sophistiqué pour l'analyse de performance directement au sein de la base de données. Cela inclut la création et l'automatisation du calcul des temps de cycle de production, des indicateurs clés de performance (KPIs) de maintenance et de production, ainsi que des paramètres pour le diagramme de Pareto. Ces automatisations, basées sur des requêtes SQL et des scripts, ont permis une analyse en temps réel et une interprétation rapide des performances opérationnelles, offrant une vision claire des goulots d'étranglement et des axes d'amélioration. Enfin, une solution de sauvegarde automatisée sur le Cloud a été implémentée, garantissant la sécurité et la résilience des données critiques.

Le Chapitre 6 a ensuite concrétisé ces efforts par le développement d'un tableau de bord interactif et dynamique, conçu pour la traçabilité et l'analyse de performance. Le choix de Power BI comme outil de Business Intelligence a été justifié par sa capacité à transformer des données brutes en visualisations percutantes. Des pages dédiées ont été élaborées pour les KPIs de maintenance, les KPIs de production, le cycle de production, le diagramme de

Pareto et les sacs produits. Chaque page a été pensée pour offrir une lecture rapide et intuitive, permettant aux équipes opérationnelles et de gestion d'identifier en un coup d'œil les tendances, les anomalies et les opportunités d'optimisation. La conception de ces visualisations a été un travail d'ingénierie de l'information, visant à rendre les données complexes accessibles et actionnables.

But Fondamental du Projet et Objectifs de l'OCP

Le but fondamental de ce projet était de doter la ligne d'ensachage du MCP d'un système de gestion de performance moderne et efficace. Cela s'inscrit directement dans les objectifs stratégiques de l'OCP, qui visent l'excellence opérationnelle, l'amélioration continue et la digitalisation de ses processus industriels. En fournissant des outils de traçabilité et d'analyse précis, le projet a contribué à renforcer la capacité de l'OCP à optimiser ses rendements, à réduire les pertes et à améliorer la qualité de ses produits. La démarche s'aligne également avec la vision de l'OCP de s'appuyer sur des données fiables pour une prise de décision proactive et éclairée, essentielle dans un environnement industriel compétitif.

Impact et Valeur Ajoutée pour l'OCP

La contribution de ce projet à l'OCP est multiforme et génère une valeur ajoutée significative. Directement, le système mis en place permet une identification rapide et précise des causes d'arrêts et des inefficacités, conduisant à une réduction potentielle des temps d'arrêt non planifiés et à une augmentation de la disponibilité des équipements. L'automatisation des calculs de KPIs et du diagramme de Pareto libère du temps pour les équipes, leur permettant de se concentrer sur l'analyse et la résolution de problèmes plutôt que sur la collecte et le traitement manuel des données. Le tableau de bord offre une visibilité sans précédent sur la performance de la ligne, facilitant la communication entre les différents départements et favorisant une culture de la performance.

Potentiellement, ce système ouvre la voie à des initiatives de maintenance prédictive, en fournissant les données historiques nécessaires à l'identification de schémas de défaillance. Il soutient également les efforts d'amélioration continue en permettant de mesurer l'impact des actions correctives et d'optimiser les processus. En fin de compte, cette solution contribue à une meilleure maîtrise des coûts opérationnels, à une augmentation de la productivité et à un renforcement de la compétitivité de l'OCP sur le marché mondial du phosphate.

Apprentissages Techniques, Méthodologiques et Personnels

Cette expérience a été une source d'apprentissages profonds à plusieurs niveaux. Sur le plan technique, j'ai consolidé mes compétences en gestion de bases de données SQL Server, en programmation VBA pour l'automatisation des processus, et en utilisation avancée de Power BI pour la visualisation de données. La complexité de l'intégration de différentes technologies (Excel, VBA, SQL Server, Power BI) a été un défi stimulant, me permettant de développer une expertise en architecture de systèmes d'information industriels. J'ai

également approfondi ma compréhension des indicateurs de performance clés (KPIs) spécifiques à l'industrie et des méthodes d'analyse comme le diagramme de Pareto.

Sur le plan méthodologique, j'ai appris l'importance d'une approche structurée dans la résolution de problèmes complexes. La décomposition du projet en phases distinctes, de l'identification des besoins à la mise en œuvre et au test, a été cruciale. J'ai également développé des compétences en gestion de projet, en planification et en suivi des tâches, ainsi qu'en communication technique pour présenter des concepts complexes à des publics variés. La nécessité de collaborer étroitement avec les équipes opérationnelles pour comprendre leurs besoins et valider les solutions a renforcé mes aptitudes en travail d'équipe et en adaptabilité.

Enfin, sur le plan personnel, ce stage a été une expérience transformatrice. J'ai développé une plus grande autonomie et une capacité à prendre des initiatives. La confrontation à des défis techniques inattendus a renforcé ma persévérance et ma capacité à trouver des solutions créatives. J'ai également affiné mes compétences en communication interpersonnelle, en apprenant à écouter activement, à poser les bonnes questions et à présenter mes idées de manière claire et convaincante. Cette immersion dans un environnement industriel de grande envergure m'a permis de mieux comprendre les enjeux du monde professionnel et de confirmer mon intérêt pour l'ingénierie des systèmes de production et l'analyse de données. Ce projet a non seulement enrichi mon bagage technique, mais a également façonné ma vision de l'ingénieur, capable de transformer des données en leviers stratégiques pour la performance industrielle.

Références

- (1) (4) <https://www.ocpgroup.ma/fr/developpement-durable/economie-circulaire/>
- (2) (3) <https://www.ocpgroup.ma/fr/news-article/developpement-durable-le-groupe-ocp-rejoint-le-wbcsd/>
- (5) <https://www.ocpgroup.ma/fr/operations-industrielles/>
- (6) <https://www.ocpgroup.ma/industrial-operations/>
- (7) <https://www.phosboucraa.ma/en/operations/>
- (8) <https://leseco.ma/maroc/safi-phosphate-hub-ocp-met-le-paquet/>
- (9) <https://www.archirodon.net/phosphate-port-laayoune-morocco/>
- (10) <https://industries.ma/jorf-lasfar-lusine-ocp-qui-fertilisera-lafrique/>
- (11) <https://www.ocpgroup.ma/fr/oprations-industrielles/>
- (12) https://lematin.ma/special/2013/14e-anniversaire-de-l-accession-de-s-m--le-roi-mohammed-vi-au-trone-alaouite-la-voie-royale-pour-le-maroc-du-progres/phosphates_un-site-industriel--integre-pour-l-ocp-a-safi/
- (13) <https://industries.ma/jorf-lasfar-lusine-ocp-qui-fertilisera-lafrique/>

Bibliographie

I. Documentation Constructeur (PAYPER)

1. PAYPER. (s.d.). *Description machine FFS model ASSEC L10*. [Document PDF]
2. PAYPER. (s.d.). *Formation sur fonctionnement et les équipements de ASSAC L10 FFS*. [Document PDF]
3. PAYPER. (s.d.). *Formació ASSAC francès*. [Présentation Powerpoint]
4. PAYPER. (s.d.). *MODÈLE: INST. PN-90-CGS + ASSAC L10 + ROBOT, INST. No: 4550.00/16*. [Manuel technique PDF]
5. PAYPER. (s.d.). *PAYPER ASSAC Catalogue EN 1701_0*. [Catalogue PDF]

II. Documentation Interne (OCP S.A.)

6. OCP S.A. (s.d.). *DM-ENSACHEUSE1_AA, PDR, Liste des composants, Identifications des ensembles et sous-ensembles*. Dossier machine. (Maroc Chimie, Atelier MCP, hall de stockage, ligne Ensachage). [Classeur Excel]
7. OCP S.A. (s.d.). *Livrable Identification Ensacheuse Hall Stockage_MCP_VI*. [Classeur Excel]
8. OCP S.A. (s.d.). *Pilotage performances OIC-C-M 2*. (Maroc Chimie, Atelier MCP, hall de stockage, ligne Ensachage). [Classeur Excel]
9. OCP S.A. (2018, 18 avril). *Plan de maintenance de l'ensacheuse*. (Maroc Chimie, Atelier MCP, hall de stockage, ligne Ensachage). [Classeur Excel]